CENTRE DE RECHERCHE
SUR LES TRANSPORTS
(C.R.T.)
CENTRE FOR RESEARCH
ON TRANSPORTATION

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL
ÉCOLE DES HAUTES ÉTUDES COMMERCIALES
ÉCOLE POLYTECHNIQUE

CENTRE DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS
UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL
C.P. 6128, SUCCURSALE A,
MONTRÉAL
CANADA H3C 3J7

TÉLÉPHONE: (514) 343-7575
TÉLEX: 05-24146 BIBPOLYTEC
EMAIL: crt@crt.umontreal.ca
TÉLÉCOPIEUR (FAX): (514) 343-7121

90-06425/

CRT-704

POUR LA MISE AU POINT D'UN OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION DANS LE DOMAINE DE LA PLANIFICATION DES TRANSPORTS PUBLICS INTER-CITÉS

par

Jean-Claude Lasserre[1]
Jean-Louis Routhier[1]

avec la collaboration de
Christian Lardinois[2]

[1] Laboratoire d'Économie des Transports, Maison Rhône-Alpes des Sciences de l'Homme, 14 Avenue Berthelot, 69363 Lyon Cedex 07, FRANCE.

[2] Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, C.P. 6128, succursale A, Montréal, Québec, H3C 3J7 CANADA.

Centre de recherche sur les transports - Publication #704

Juillet 1990

Dépôt légal - 3e trimestre 1990

RÉSUMÉ

Ce rapport s'adresse au problème de l'évaluation des services de transport public en contexte régional, et plus particulièrement dans le contexte de la Région Rhônes-Alpes en France. Un outil d'évaluation est proposé qui permet de saisir graphiquement la configuration des horaires offerts, d'étudier facilement leur évolution dans le temps et d'établir des comparaisons entre différentes liaisons. Le rapport passe également en revue d'autres méthodes proposées par différents auteurs, d'une part dans la catégorie des modèles de prévision, et d'autre part dans la catégorie des modèles normatifs.

Mots-clés : transport régional et interurbain de passagers; évaluation de l'offre.

S O M M A I R E

AVANT PROPOS.....2

CHAPITRE I.- LE PROBLEME : DE L'EVALUATION DE L'OFFRE A UN OUTIL D'AIDE A LA DECISION.....5

Les problèmes d'échelle 5
Les problèmes de stratégie 6
Principales caractéristiques d'un outil de travail possible 10
Pour un affinement de l'outil 18
Références 20

CHAPITRE II.- Y A-T-IL D'AUTRES OUTILS DISPONIBLES ?.....21

Les enjeux 21
Les enjeux socio-économiques 21
Les enjeux en termes de prises de décision 22
Deux types d'outils possibles 23
Les modèles de prévision 24
Les modèles de prévision dans le domaine du transport aérien 24
Les modèles de prévision pour les relations par chemin de fer et par autocar 26
Comment poursuivre la recherche ? 27
Les modèles d'optimisation de l'offre 30
Les modèles de conception des réseaux 31
Les modèles de choix d'itinéraires et d'horaires 32
Les modèles de régulation du trafic 35
Comment poursuivre la recherche ? 36
La nécessité des systèmes informatisés d'aide à la décision 37
Références 41

CHAPITRE III.- A LA RECHERCHE DES MEILLEURS INDICATEURS D'OFFRE.....45

Des indicateurs d'offre sans prise en compte de la distance 45
La prise en compte de la distance 48

CHAPITRE IV.- LA PRISE EN COMPTE DE LA DEMANDE ET DES COUTS.....53

Evaluation de la demande instantanée 53
Une mesure de l'utilité d'un trajet en fonction de la distance et de l'heure de départ et de l'heure d'arrivée 57
Prise en compte des motifs de déplacement 58
La prise en compte des coûts 60

BILAN ET PERSPECTIVES.....65

AVANT-PROPOS

Ce rapport a été préparé au cours d'un stage d'un mois effectué en mars 1988 par Jean-Claude Lasserre et Jean-Louis Routhier au Centre de Recherche sur les Transports de l'Université de Montréal, grâce à un programme conjoint du Centre National de la Recherche Scientifique, à Paris, et du Conseil de Recherches en Sciences Humaines, à Ottawa.

Ces recherches sur la planification des transports publics inter-cités par chemin de fer et par autocar ont commencé au Laboratoire d'Economie des Transports de l'Université Lumière Lyon 2 en 1983, dans le cadre d'un contrat avec la Région Rhône-Alpes, et avec une équipe comprenant, entre autres, M. Bernadet, A. Bonnafous, P. Gamon, O. Jeannin, J.C. Lasserre, F. Plassard et J.L. Routhier.

Le présent rapport s'efforce de faire le point sur l'état actuel de la question, et il a été enrichi par les nombreux contacts et les multiples lectures effectués au Canada. Les chapitres I et II ont été rédigés par Jean-Claude Lasserre ; le second de ces chapitres s'appuie beaucoup sur un travail de synthèse de C. Lardinois en anglais. Les chapitres III et IV sont de la plume de Jean-Louis Routhier. Une première édition à tirage limité de ce rapport a été effectuée au LET en décembre 1988. La présente édition, à Montréal et à Lyon, est le fruit d'une révision du texte, à la suite d'une lecture attentive par C. Lardinois, qui doit être vivement remercié.

Depuis la rédaction de ce rapport en 1988, les recherches dans le domaine des transports régionaux se sont poursuivies à Lyon, dans le cadre d'un contrat avec la région Rhône-Alpes. Elles ont abouti à un rapport de synthèse, "Le transport régional inter-cités en Rhône-Alpes", par Michel Le Nir, Jean-Louis Routhier et Sylvie Thibaud, sous la direction d'Alain Bonnafous, mai 1989, 26 p. En 1990, d'autres recherches sont en cours en vue de l'élaboration d'un plan de développement à long terme des transports publics dans la région lyonnaise.

CHAPITRE I

LE PROBLEME : DE L'EVALUATION DE L'OFFRE A UN OUTIL D'AIDE A LA DECISION

L'organisation des transports régionaux en Europe occidentale soulève plusieurs types de problèmes. Les uns relèvent de questions d'échelle ; d'autres, beaucoup plus importants, procèdent de choix stratégiques différents.

Les problèmes d'échelles

Ce que nous appelons en France **transports régionaux**, dans le cadre de politiques mises en oeuvre depuis la première moitié des années 1970, nous conduit à considérer des espaces tels que ceux de Midi-Pyrénées, ou Rhône-Alpes, qui comprennent huit départements chacun, et qui en surface sont d'une taille comparable à ceux de la Suisse, de la Belgique ou des Pays-Bas. En termes de population, les 5 millions d'habitants de Rhône-Alpes équilibrent à peu près les 6 millions et demi de Suisses, un peu moins les 10 millions de Belges, ou les 14 millions et demi de Néerlandais, mais il n'en reste pas moins que l'organisation des transports **régionaux** en France est à comparer à l'organisation des transports **nationaux** chez certains de nos voisins.

D'autres problèmes d'échelle doivent être situés à l'intérieur de ces espaces régionaux, car l'organisation des transports s'énonce en partie dans des termes différents selon que l'on envisage :

- les problèmes de dessertes rurales, qui se font surtout par autocar, et qui relèvent pour l'essentiel des autorités départementales ;
- les problèmes de desserte de ce que nous appelons les grands bassins d'emploi, qui relèvent davantage des autorités régionales, surtout lorsque ces bassins d'emploi chevauchent plusieurs départements ; c'est le cas du bassin d'emploi lyonnais, qui s'étend à la fois dans le Rhône, l'Ain, l'Isère et la Loire ;
- enfin les problèmes de liaisons inter-cités, qui sont fondées surtout, mais pas exclusivement, sur le mode ferroviaire, et qui relèvent pour l'essentiel des autorités régionales. C'est ce "créneau" des liaisons inter-cités qui fait l'objet de la présente étude.

Les problèmes de stratégie

Les questions d'échelle éclaircies, reste l'essentiel : la mise au point d'une bonne stratégie dans l'organisation des services passe certes par une meilleure connaissance de la demande, qu'il faut analyser selon les trois niveaux déjà distingués (desserte rurale, desserte des grands bassins d'emploi, desserte des liaisons inter-cités) ; mais elle passe aussi par une meilleure connaissance de l'offre existante, grâce à des outils d'évaluation adéquats. A cet égard, il faut noter que deux grandes options stratégiques s'affrontent à l''heure actuelle en Europe occidentale.

Certains de nos voisins, avantagés parfois par des densités de population plus élevées que chez nous (c'est le cas du Bénélux et de la R.F.A., mais pas de la Suisse) sont en train de convertir l'ensemble de leurs réseaux ferroviaires en de vastes systèmes de type RER, avec cadencement généralisé des services. Ce sont soit des cadencements à effets cumulatifs sur les liaisons entre villes principales (par exemple aux Pays-Bas, fig. 1), soit des cadencements horaires avec rendez-vous et correspondances assurées aux principaux carrefours du réseau (par exemple le système Rail 2000 Suisse).

Dans ces cas, **passant par-dessus la nécessité d'une meilleure connaissance de la demande et de l'offre, on opte pour un choix politique radical qui repose sur un pari**, à savoir qu'une amélioration fondamentale de l'offre va nécessairement entraîner une hausse de la demande, et des transferts modaux importants, notamment du transport individuel vers le transport collectif.

Outre ces avantages du côté des usagers, ce choix du cadencement permet de résoudre plus facilement un certain nombre des problèmes de l'exploitation, en termes d'utilisation du matériel roulant et d'affectation du personnel de conduite et d'accompagnement. Mais il est vrai que cela ne peut généralement se faire qu'au prix d'une augmentation plus ou moins substantielle de ces ressources physiques et humaines.

Dans ce cadre, on investit massivement : ainsi, le Conseil fédéral suisse vient d'accorder à l'ensemble des chemins de fer privés suisses des crédits d'environ 930 M de FS, soit à peu près 3,7 milliards de FF, pour la période 1988-1992, pour la modernisation des lignes et l'acquisition de matériel roulant attractif, de façon à permettre à ces chemins de fer privés de s'intégrer dans le système Rail 2000. De leur côté, les cantons participeront également aux investissements (**La Vie du Rail**, 5 mars 1987, p. 47).

Dans cette option radicale, on envisage certes pour quelques années des déficits accrus dans les budgets de fonctionnement, mais on **parie** que les effets sur la demande vont être tels que le retour à un certain équilibre financier devrait être acquis. Un tel pari est conforté par un certain nombre d'expériences récentes, par exemple

celle du TGV français, pour lequel, on le sait, les prévisions d'achalandage se sont révélées nettement inférieures à la réalité, et celle de certains réseaux régionaux de la **Bundesbahn** en RFA, notamment en Bavière, où l'on a effectivement enregistré une hausse substantielle de la demande à la suite d'une modification radicale de l'offre sur les lignes radiales autour de Munich (voir sur ce point les travaux de Louis Servant).

D'autres pays, et notamment la France, handicapés par des densités de population plus faibles, ont opté pour des politiques qui peuvent apparaître plus "frileuses", mais qui s'efforcent d'adapter l'offre à ce qu'on croit savoir de la demande. Dans le cas de la France, ces politiques s'expliquent par plusieurs choix successifs :

- transfert d'un certain nombre de responsabilités, notamment dans le domaine du transport, de l'Etat aux collectivités régionales, départementales et locales. Pour ce qui est du transport régional inter-cités, cela a commencé avec la politique des schémas régionaux de transport, à partir de 1974, et cela s'est poursuivi avec la L.O.T.I. (Loi d'Orientation des Transports Intérieurs du 31 décembre 1982) et les lois dites de décentralisation, qui ont prévu que désormais l'organisation des transports à l'échelle régionale est du ressort des régions ;
- par ailleurs, à l'expiration de la durée de validité de la convention de 1937 sur la SNCF, la L.O.T.I. a mis en place une nouvelle SNCF dont les missions et le cahier des charges ont été redéfinis (voir BERNADET et LASSERRE, 1985, chap. 3). Sont notamment prévus la possibilité de conventions entre les régions et la S.N.C.F., et le fait que toute amélioration de l'offre comportant des frais supplémentaires conduira nécessairement la région à défrayer ces coûts.

D'où au total, dans un pays comme la France, une évolution très complexe, avec les traits suivants :

- cadencement de certains services d'envergure nationale, notamment le TGV Paris-Lyon ;
- cadencement par batteries de trains à dessertes géographiques spécialisées sur les lignes à gros trafic, en particulier sur certains axes de la région parisienne (fig. 1) ;

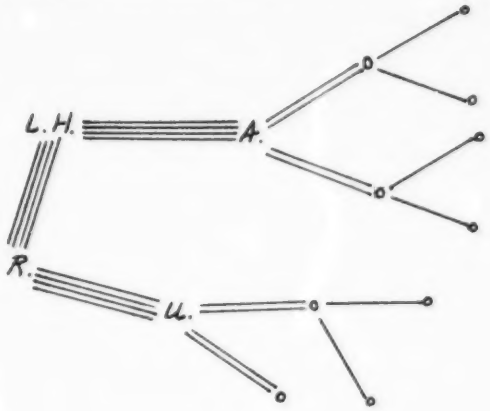
figure 1- Types de cadencements des services

A - Cadencement à effet cumulatif sur les liaisons entre villes principales :le cas des Pays-Bas (très schématisé)

1 service/heure

2 services/heure

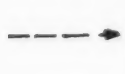
4 services/heure



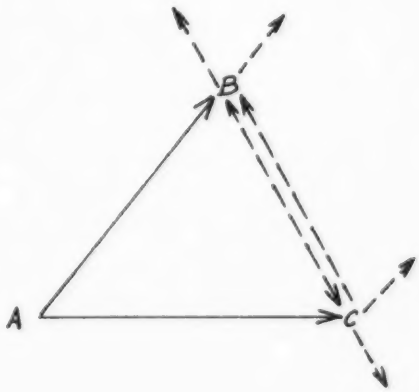
B - Cadencement horaire avec rendez-vous et correspondances dans les principales villes (Rail 2000 Suisse, très simplifié)

Au départ de A :

parcours de la première heure



parcours de la deuxième heure.



C - Cadencement en batteries de trains à dessertes géographiques spécialisées (RER parisien)

Au départ de A (centre-ville),

-1er train, express : A ⟶ X ⟶ Y, omnibus:Y ⟶ Z

-2ème train, express: A ⟶ X, omnibus:X ⟶ Y

-3ème train, omnibus: A ⟶ X.

- mais ailleurs, pas d'évolution vers un cadencement, jugé trop coûteux, ce qui veut dire que sur certaines frontières de la France sont en train de se dresser de véritables murs en ce qui concerne la cohérence des horaires, cadencés d'un côté, non cadencés de l'autre. C'est le cas, par exemple, à Genève-Cornavin (Fabrizi, P., 1986). Sur les réseaux ferroviaires d'Europe occidentale, les ruptures de charges créées par les différences d'écartement, de gabarit, puis par les "frontières électriques" dans les caténaires vont donc se renforcer avec la présence de frontières dues aux différences de stratégies dans l'organisation des horaires.

Le cas de la France est également très complexe parce que les différentes régions adoptent des comportements très variés, parmi lesquels on peut individualiser deux extrêmes :

- d'un côté, certaines régions se sont lancées (certaines depuis 1974) dans une politique très volontariste de réorganisation tactique approfondie du réseau régional, réorganisation symbolisée par l'achat de matériel roulant (routier et ferroviaire) aux couleurs de la région : Nord-Pas-de-Calais, Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Midi-Pyrénées ;
- à l'autre extrême, d'autres régions ont une position beaucoup plus réservée, redoutant de mettre le doigt dans un engrenage dont elles savent qu'il les amènera à des dépenses importantes... C'est le cas de la région Rhône-Alpes, jusqu'à présent.

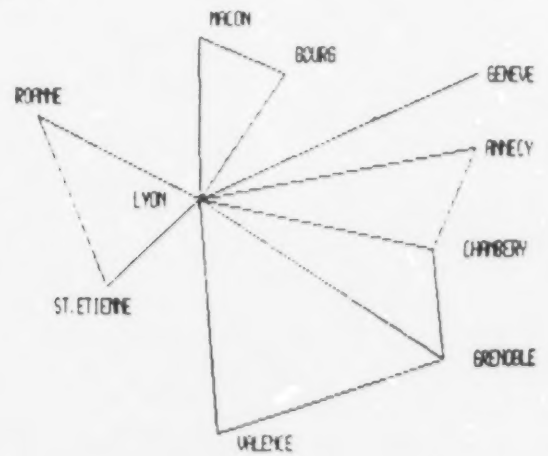
C'est cependant celle-ci qui a invité une équipe du Laboratoire d'Economie des Transports à participer à un processus de réflexion, puis à entreprendre une recherche sur les moyens d'évaluer l'offre de transport régional. Cette préoccupation naît d'un double souci :

- d'une part, l'art. 22 de la LOTI stipule que "la région est consultée sur les modifications de la consistance générale des services assurés, dans son ressort, par la Société nationale des chemins de fer français". Concrètement, cela veut dire que deux fois par an, la SNCF communique à la région les prochains horaires d'été ou d'hiver qu'elle entend appliquer, et que la région doit donner son avis. Pour cela, de quels outils dispose-t-elle pour évaluer l'offre de transport proposée, la comparer aux horaires des années précédentes, éventuellement formuler des contre-propositions ?
- par ailleurs, il est clair que les responsables régionaux et départementaux, techniciens et élus, ont besoin d'un outil de travail pour suivre l'évolution récente de l'offre de transport, et pour tenter de la programmer pour les années qui viennent à l'aide de certaines normes de services et de coûts. Parmi ces normes, on peut penser à des critères d'équité :

- équité entre les usagers du système de transport (équité des tarifs, équité des niveaux de services, etc...),
- équité entre les catégories sociales quant au potentiel de mobilité,
- équité entre les aires géographiques constituant la circonscription considérée (région ou département). Mais pour cela, encore une fois, de quels outils de travail dispose-t-on ?

Principales caractéristiques d'un outil de travail possible

Dans le cas de la région Rhône-Alpes, le réseau de relations inter-cités à considérer comporte l'ensemble des préfectures (sauf Privas, non desservie par le rail), plus une sous-préfecture (Roanne), ainsi que deux villes extérieures à la région (Mâcon et Genève), qu'on a jugé utiles d'ajouter à cause de leurs liens particuliers avec la région (fig. 2). A l'échelle régionale, certaines de ces liaisons sont radiales autour de Lyon, d'autres transversales. Parmi ces dernières, quelques-unes n'offrent de services intéressants que par une correspondance à Lyon (Roanne-Mâcon, Saint-Etienne-Valence). La définition de ces liaisons radiales et transversales à l'échelle régionale n'a rien à voir avec une grille comparable à l'échelle nationale. Ainsi, les liaisons Mâcon-Bourg-Genève constituent des relations régionales transversales, tout en faisant partie d'une relation radiale nationale par TGV. Enfin, la plupart de ces liaisons relèvent du chemin de fer, sauf Genève-Annecy, où les services par autocar ont également été considérés (souvent plus intéressants en termes de temps).



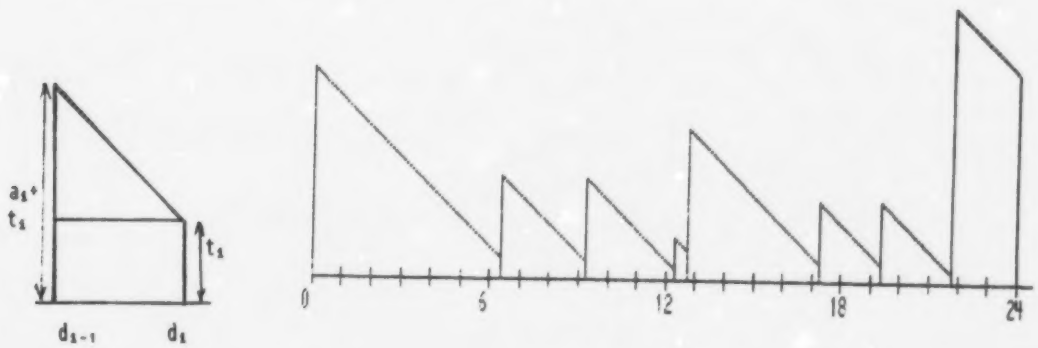
Le système urbain rhône-alpin.

figure 2 (source : BONNAFOUS A., PLASSARD F., 1985)

Sur ces différentes liaisons, l'évaluation de l'offre de transport peut être considérée de plusieurs points de vue : confort, coût, nombre de dessertes journalières, nombre de places offertes, répartition dans le temps de ces dessertes, temps de trajet, etc. Mais il est très difficile de construire un indicateur synthétique, et il est tout aussi difficile de porter un jugement global sur la comparaison entre deux liaisons caractérisées par un nombre élevé de paramètres ponctuels pouvant fournir des indications divergentes. Mais

on peut concevoir un indicateur plus simple tenant compte seulement du temps de trajet, du nombre de dessertes, et de leur répartition dans le temps, sur une liaison donnée entre deux villes A et B, et dans une direction.

Pour cela, l'information à traiter procède uniquement des horaires. On la dispose sur un graphique en émettant l'hypothèse que pour un usager désirant partir à une heure quelconque de la journée, le temps d'accès à destination est égal au temps du trajet auquel on ajoute le temps d'attente qui précède le départ. On obtient ainsi ce que nous avons appelé le temps combiné, somme du temps de trajet et du temps d'attente, que l'on peut représenter par un diagramme classique en toit d'usine (fig. 3).



d_i=moment de départ du service i
t_i=temps de trajet d'un service donné i
a_i=temps d'attente maximum d_i-d_{i-1}, précédant le départ du service i

figure 3
Temps de trajet et temps d'attente : les graphes "en toits d'usines"

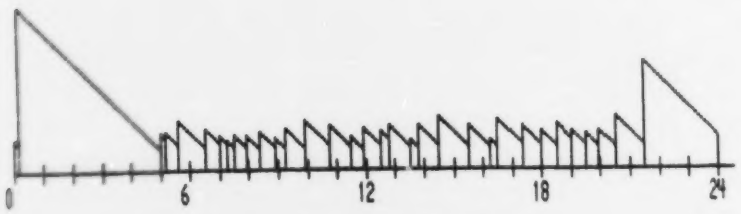
Certes, l'hypothèse de base peut être discutée : on peut en particulier ne pas être d'accord pour considérer comme équivalents le temps de trajet et le temps d'attente, d'autant plus que ce dernier peut être considérablement réduit pour l'usager qui connaît les horaires et qui s'y conforme. Nous reviendrons plus tard sur ce problème, mais dès à présent, on peut noter que le graphique tel quel, qui peut être facilement dressé automatiquement par un ordinateur, fournit bien les caractéristiques fondamentales des services offerts sur la liaison considérée : nombre de dessertes, temps de trajet de chacune d'entre elles, et leur répartition au cours d'une journée ouvrable.

Dès lors deviennent à la fois possibles et faciles toutes sortes de comparaisons, dans l'espace et dans le temps. **Dans l'espace**, et pour un même horaire (ici, celui de l'hiver 1979-1980 retenu pour connaître l'état des liaisons avant la mise en place du TGV), on voit apparaître graphiquement un certain nombre de types (fig. 4) :

- le type 1 est marqué par une grande densité des services au cours d'une longue plage horaire,
- le type 2 indique une densité moins forte des services (de l'ordre d'une douzaine par jour dans chaque direction), répartis sur une plage horaire presque aussi longue que dans le cas précédent,
- le type 2a offre une densité de services comparable sur une plage horaire nettement plus courte,
- le type 3 est révélateur des "perturbations" apportées sur la grande ligne du PLM (Paris-Lyon-Méditerrannée) par la présence des trains de nuit. Pour les dessertes inter-cités à l'échelle régionale, on constate ainsi des "trous" importants dans les dessertes de jour, "trous" égaux ou supérieurs à ceux qui existent de nuit,
- le type 4 est marqué par une faible densité des services (de l'ordre d'une demi-douzaine par jour dans chaque direction), sur une plage horaire convenable (de 6 à 21 h environ),
- le type 4a offre une densité de services comparables sur une plage horaire plus courte.

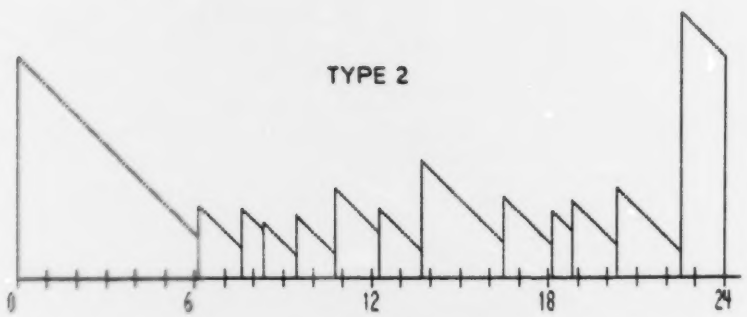
figure 4 A : types de niveaux de l'offre de transport.

TYPE 1



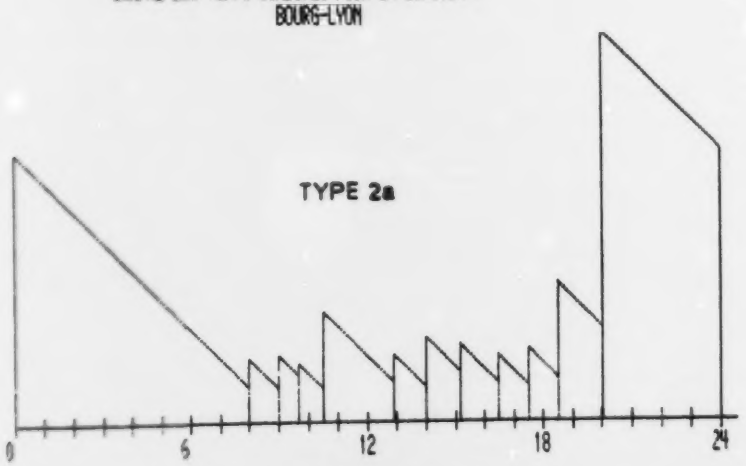
EVALUATION DU NIVEAU DE L'OFFRE DE TRANSPORTS
GRAPHE DES TEMPS COMBINES POUR LA LIAISON :
SAINT-ETIENNE-LYON

TYPE 2



EVALUATION DU NIVEAU DE L'OFFRE DE TRANSPORTS
GRAPHE DES TEMPS COMBINES POUR LA LIAISON :
BOURG-LYON

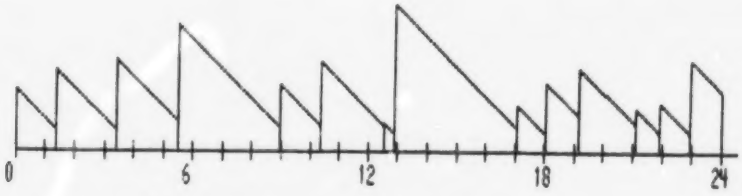
TYPE 2a



EVALUATION DU NIVEAU DE L'OFFRE DE TRANSPORTS
GRAPHE DES TEMPS COMBINES POUR LA LIAISON :
GENEVE-ANNECY

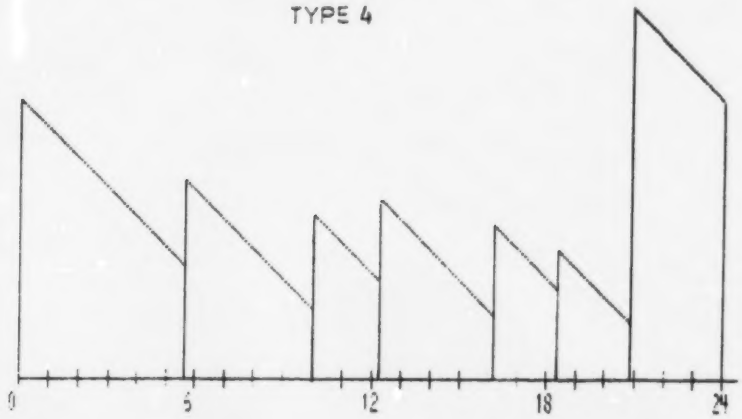
figure 4 B : types de niveaux de l'offre de transport.

TYPE 3



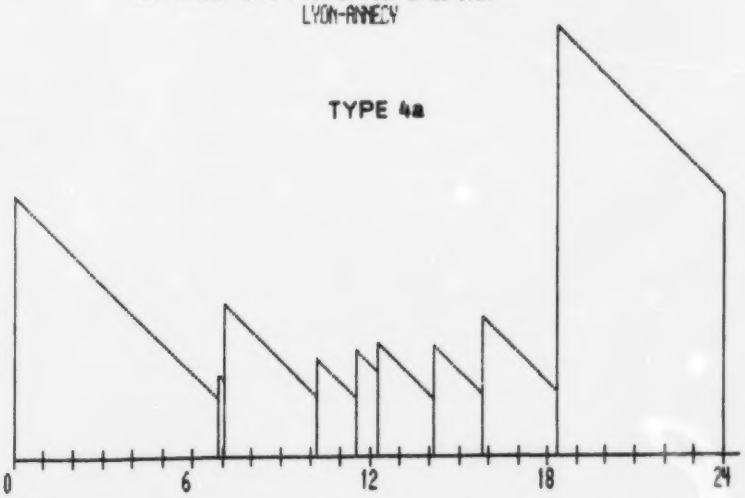
EVALUATION DU NIVEAU DE L'OFFRE DE TRANSPORTS
GRAPHE DES TEMPS COMBINES POUR LA LIAISON :
MACON-LYON

TYPE 4



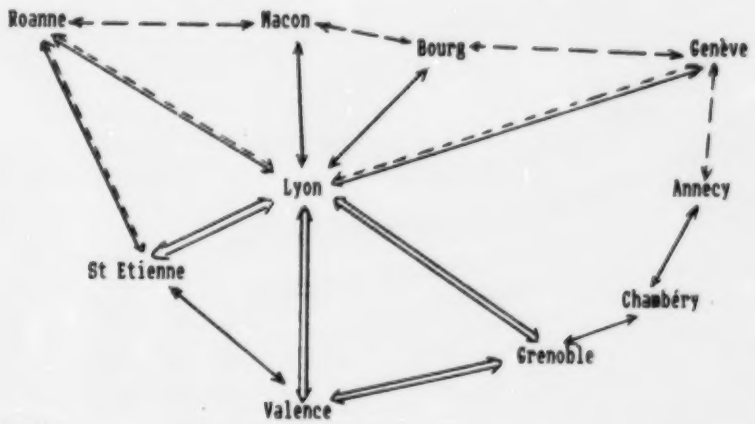
EVALUATION DU NIVEAU DE L'OFFRE DE TRANSPORTS
GRAPHE DES TEMPS COMBINES POUR LA LIAISON :
LYON-ANNECY

TYPE 4a



EVALUATION DU NIVEAU DE L'OFFRE DE TRANSPORTS
GRAPHE DES TEMPS COMBINES POUR LA LIAISON :
LYON-GENEVE

Une cartographie de ces types est également possible, et fait apparaître un certain nombre de traits marquants (fig. 5) :
- dans l'ensemble, les liaisons radiales sont nettement meilleures que les liaisons transversales ;
- la moitié sud-ouest de la région apparaît nettement favorisée par rapport à la moitié nord-est. Ceci peut être interprété en rappelant que les plus grandes villes sont justement dans la moitié sud-ouest de la région, mais en même temps cette dissymétrie dans la qualité de l'offre de transport collectif inter-cités est particulièrement préoccupante dans la perspective du TGV, rapprochant considérablement les villes de la région Rhône-Alpes de Paris, et notamment celles de la moitié nord-est de la région.



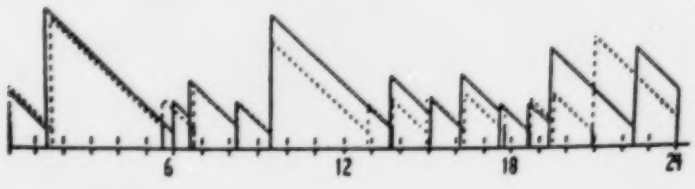
Evaluation du niveau de l'offre de transport public inter-cités pour la région Rhône-Alpes en 1980. Temps combiné pondéré avec distance normalisée (1)

figure 5

Dans le temps, l'étude de l'évolution de l'offre sur une même liaison devient également possible. Pour la région Rhône-Alpes, une comparaison entre les horaires de 1979-1980 et de 1983-1984 a été effectuée et permet de voir apparaître (fig. 6) des liaisons améliorées (par exemple Lyon-Mâcon), et des liaisons détériorées (par exemple Mâcon-Bourg). On peut donc dresser la carte des liaisons améliorées et des liaisons détériorées (fig. 7), et dans le cas de la région Rhône-Alpes, la démarche est d'autant plus intéressante qu'elle permet ensuite de s'interroger sur le rôle du TGV dans cette évolution, et notamment aux changements d'horaires dûs à de nouvelles fonctions de certains trains, devenus des trains de rabattement sur le TGV (voir A. Bonnafous et F. Plassard, 1985).

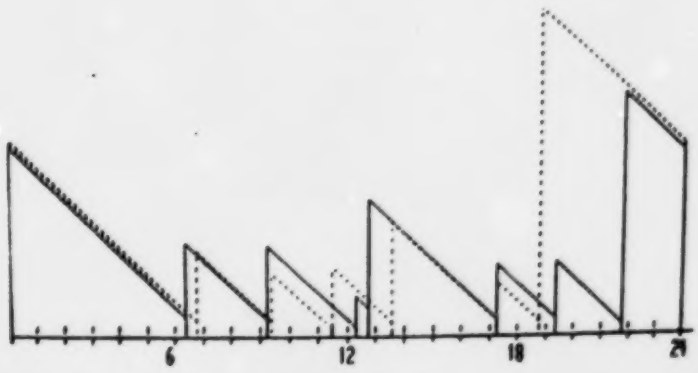
(1) c.a.d. l'espérance mathématique sur une journée de (temps de trajet+temps d'attente)/distance, seuls les voyages effectués entre 6h et 22h. étant pris en compte. Pour plus de détail, voir p.18, 2) et 3).

figure 6
Graphe d'évolution dans le temps d'une liaison
(source : Bonnafous, Plassard, 1985)



LYON-MACON

Exemple de liaison améliorée.



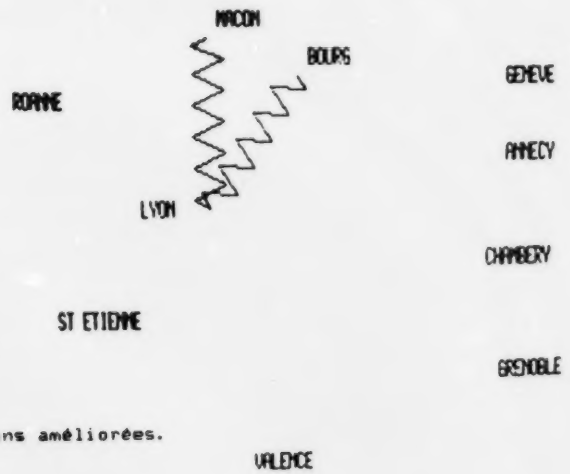
MACON-BOURG

1984

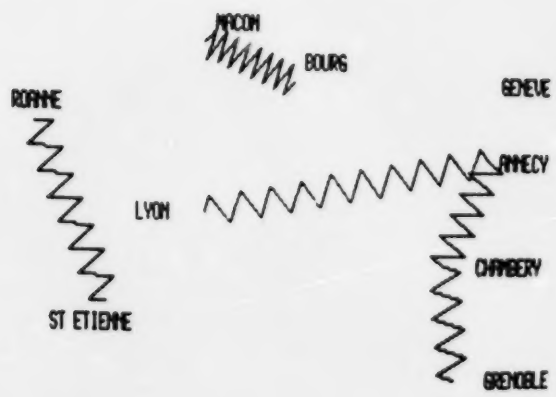
1980

Exemple de liaison détériorée.

figure 7
Cartographie des liaisons améliorées ou déteriorées
(source : Bonnafous, Plassard, 1985)



Liaisons améliorées.



Liaisons détériorées.

Pour un affinement de l'outil

Pour les techniciens comme pour les élus responsables, le recours à un tel outil par ordinateur sur un mode interactif devient très tentant : que se passe-t-il si je supprime tel train, et si j'avance d'une demi-heure tel autre ? En d'autres termes, l'outil n'est pas seulement destiné à l'analyse, mais aussi à la simulation.

Dans cette perspective cependant, un certain nombre de problèmes subsistent :

1) Le calcul de l'intégrale de la courbe peut fournir un premier indicateur automatisé intéressant. Mais il faut bien voir que le calcul d'une surface est finalement beaucoup moins riche que la précision des informations disponibles sur le graphe. De plus, dans ce calcul de surface, des phénomènes de compensation entre les différents trapèzes (voir fig.6) comme entre les divers facteurs (vitesses inégales des services successifs, fréquences variables) risquent d'introduire des distorsions insoupçonnées.

2) La prise en compte de la distance soulève un certain nombre de problèmes. Comme le précisent A. Bonnafous et F. Plassard (1985),

> "Cet indicateur devrait bien entendu prendre en compte le fait que l'offre de transport s'adapte à la demande. Les temps combinés sont de ce fait variables selon les relations. Une simple tendance gravitaire implique par exemple que les fréquences diminuent avec la distance entre villes desservies, et augmentent avec leur importance. Les durées de trajet quant à elles sont sensiblement proportionnelles aux distances".

Il est vrai qu'en sens inverse, la demande s'adapte à la qualité de l'offre, et que plus celle-ci s'améliore, plus la clientèle augmente.

Mais la division des temps combinés par les distances réelles par la route (ce qui, pensions-nous, allait introduire un élément de compétitivité intermodale utile, qui sert d'ailleurs de référence implicite aux usagers) a entraîné des distorsions inacceptables. Ainsi, grâce à une distance de l'ordre de 100 km, la liaison Lyon-Grenoble apparaît dès lors meilleure que la liaison Lyon-St-Etienne, pour laquelle la distance est d'à peine 60 km, alors qu'au niveau de la qualité du service offert, cette dernière liaison est nettement meilleure. Il a donc fallu nous résoudre à utiliser un critère de temps combiné divisé par une distance normalisée, de l'ordre de 100 km, pour toutes les liaisons. Mais alors, le poids des réalités de type gravitaire n'est-il pas gommé ?

3) Pour tenir compte de la nécessaire adaptation à la demande, on a décidé l'introduction d'une plage horaire de 6 à 21 h., reflètant les besoins réels de déplacement. On a donc retenu des coefficients 0 pour

les tranches horaires de 21 h à 6 h, et des coefficients 1 pour les tranches horaires de 6 h à 21 h. Mais il faut aussi ajouter une pondération supplémentaire pour tenir compte de la répartition de cette demande dans le temps ("pointes" du matin, du milieu de la journée et du soir). Ainsi s'ouvre une piste qui consiste à tenter de "caler" cette évaluation de l'offre sur un profil de la demande, à définir.

4) On nous a présenté des objections quant au caractère "excessif" de certains temps d'attente. Effectivement, en neutralisant par exemple le temps d'attente excédant une heure, nous pourrions obtenir une expression de la réalité plus proche du "vécu" de certains usagers. Mais quelle en serait la justification théorique, surtout dans la perspective d'une comparaison de la qualité de l'offre sur différentes liaisons ? D'autres objections consistent à dire que le temps d'attente ne devient jamais égal à 0 au moment du départ du train, qu'il y a nécessairement un temps d'accès au quai et d'embarquement de l'ordre de 5 à 10 minutes, et qu'en conséquence, les temps d'attente devraient encore être diminués. Mais là encore, quelles en seraient les justifications théoriques ? Si, comme cela peut arriver, l'usager doit marcher de 5 à 10 minutes entre son entrée en gare et son installation dans le train, cela ne fait-il pas partie de la qualité de l'offre à prendre en compte ?

Ainsi, l'outil peut encore être l'objet d'un certain nombre de perfectionnements. Mais il est déjà un outil opérationnel d'évaluation de l'offre de transport, fournissant "un système de clignotants destiné à alerter les décideurs" (A. Bonnafous et F. Plassard, 1985), et constituant un des instruments indispensables en vue de la mise au point d'un "tableau de bord" des autorités régionales pour ce qui concerne le nécessaire pilotage du réseau de transport collectif inter-cités. Il peut permettre aussi un dialogue plus efficace entre les exploitants, comme la SNCF, les autorités politiques régionales, voire départementales, et les usagers. Aux uns et aux autres, il peut mettre en lumière les besoins et les lacunes d'un réseau de transport qui, pour l'essentiel, est un héritage de l'histoire, et qui a besoin de nécessaires adaptations.

REFERENCES

BERNADET M., et LASSERRE J.C., **Le secteur des transports, concurrence et compétitivité**, Economica, Paris, 1985, 380 p.

BONNAFOUS A., et PLASSARD F., **Liaisons intra-régionales et TGV** dans **Les aspects socio-économiques des trains à grande vitesse**, Tome III, La Documentation Française, 1985, p. 529-537.

FABRIZI Philippe, **L'évolution récente du réseau ferré de la région genevoise**, Mémoire de maîtrise en géographie, Université Lumière Lyon 2, 1986.

GAMON Philippe, **Le transport des régions**, Coll. Transports et Communications, Ed. Paradigme, Caen, France, 1987, 292 p.

LASSERRE J.C., BERNADET M., et al., **Essai d'évaluation de l'offre régionale de transport public : le cas de Rhône-Alpes**. L.E.T., Lyon, janv. 1984, 132 p.

SERVANT L., **Réorganisation et intégration des transports en commun à Munich**. Cahiers de l'IAURP, n° 33, déc. 1973.

SERVANT L., **L'amélioration des transports urbains, expériences françaises et étrangères**, Notes et études documentaires n° 4473, 3 juil. 1978, La Documentation Française, 156 p. (et particulièrement l'étude sur le cas de Munich, p. 103-114).

CHAPITRE II

Y A-T-IL D'AUTRES OUTILS DISPONIBLES ?

L'outil de travail dont les grandes caractéristiques viennent d'être esquissées est certes encore perfectible, mais avant d'aller plus loin et de tâcher de l'améliorer surgit une question : est-ce que des outils comparables n'ont pas déjà été mis au point ? Certains des modèles existants ne permettent-ils pas d'arriver à des résultats équivalents ou meilleurs, si possible sur un mode interactif graphique ?

C'est en grande partie ce genre d'interrogations qui nous a motivés pour demander et obtenir un stage au Centre de recherche sur les transports de l'Université de Montréal, en mars 1988, dans le cadre d'un programme conjoint CNRS/CRSH. Avant de poursuivre nos travaux dans ce domaine, il est en effet important de nous assurer qu'ils ne font pas double emploi avec d'autres démarches déjà accomplies ou en cours, et il nous a semblé que le CRT, compte tenu de sa vaste expérience des modèles dans le domaine du transport, est un des meilleurs endroits au monde pour effectuer une telle vérification.

Effectivement, nous avons trouvé un rapport d'un chercheur du Centre qui répond exactement à nos préoccupations :

> C. LARDINOIS, Supply Models for Intercity Passenger Transportation : a Review, Université de Montréal, Centre de recherche sur les transports, Publication 420, juillet 1985, 50 p.

et c'est en grande partie à partir de ce rapport, complété par des discussions avec les chercheurs du Centre, que nous avons rédigé ce chapitre.

LES ENJEUX

La planification de l'offre de transports publics inter-cités est un domaine dont les enjeux sont devenus considérables, à la fois par rapport au contexte socio-économique, et par contre-coup, dans les différents niveaux d'intervention et de décision possibles.

Les enjeux socio-économiques

Plusieurs facteurs récents sont venus modifier le cadre socio-économique dans lequel s'insérait jusqu'à présent l'offre de transport public inter-cités. Le premier est sans aucun doute la crise et ses conséquences, notamment le chômage accru, et l'obligation qui est faite à un nombre croissant de travailleurs ayant perdu leur emploi

d'accepter un nouveau poste dans une autre ville que celle de leur résidence, alors que leur conjoint garde un emploi sur place. Pour les exploitants également, la crise s'est traduite par une compétition plus âpre entre modes et entre transporteurs, et les politiques actuelles tendant à une déréglementation dans le domaine du transport travaillent dans le même sens.

Dans un tel cadre, la nécessité de disposer d'outils convenables assurant à la fois le suivi de l'évolution de l'offre de transport inter-cités, et la simulation de diverses alternatives possibles, s'impose non seulement pour les responsables des compagnies exploitantes, mais aussi pour les fonctionnaires et élus chargés des transports de personnes à différents niveaux de gouvernement, régionaux et nationaux, qui risquent d'être confrontés à des situations de plus en plus mouvantes et incertaines, voire même à des prises de décision et à des initiatives entraînant des engagements croissants des finances publiques. Dans cette perspective, plusieurs types d'intervention sont possibles, et il importe de bien les distinguer.

Les enjeux en termes de prise de décision

En tenant compte des travaux de plusieurs auteurs (Assad, 1980 ; Soumis, 1979 a ; Bodin et al., 1983 ; Wong, 1984), C. Lardinois rappelle que les décisions susceptibles d'être prises peuvent être très différentes quant aux acteurs (élus politiques, agences gouvernementales, ou compagnies de transport ?), et quant à divers paramètres tels que l'espace, le temps, les investissements requis, etc. De façon plus précise, il identifie trois niveaux hiérarchisés de décision stratégique, tactique, et de gestion à court-terme (opérational).

Au niveau le plus élevé, les décisions d'ordre stratégiques concernent la définition d'une politique de l'offre, ce qui implique des investissements en matériel et en personnel pouvant s'étaler sur de longues périodes de temps, en tenant compte de l'état du marché, de prévisions de la demande s'appuyant sur les caractéristiques démographiques des populations concernées, des positions respectives des divers concurrents possibles, etc... La définition d'une telle politique de l'offre doit également tenir compte du contexte économique (taux d'intérêt pour l'emprunt de capitaux, taux de l'inflation, coût de la main-d'oeuvre et de l'énergie, etc...), et du contexte plolitique (politiques de transport, place accordée à tel ou tel mode, etc...).

A un niveau inférieur, les décisions d'ordre tactique portent sur des horizons de planification à moyen terme, et elles ont pour objectif principal l'utilisation optimale des ressources disponibles, physiques et humaines, et les meilleures performances en termes d'efficacité et de productivité. En d'autres termes, le niveau de décision tactique porte sur la meilleure utilisation possible des ressources existantes, et non pas sur l'acquisition de nouvelles. Il s'agit donc de choix quant aux fréquences des services, aux itinéraires et aux horaires des

véhicules et de leur personnel d'accompagnement, compte tenu de la flotte et de la main-d'oeuvre disponibles, des contraintes imposées par l'entretien, le budget, les tarifs, et les règlements gouvernementaux.

Enfin, à un dernier niveau se situent les décisions de gestion portant sur le très court terme : organisation détaillée des déplacements des véhicules et de leurs équipages, adaptation aux variations journalières de la demande, programme détaillé de l'entretien et de la maintenance du matériel (et éventuellement des infrastructures), rapports avec les syndicats, production et publication des horaires d'hiver et d'été, suivi continu des circulations et décisions immédiates à prendre à la suite d'un incident ou d'un imprévu, etc.

Si une telle classification est très utile en termes de compréhension des enjeux quant à la nature des décisions à prendre, il ne faut pas non plus en exagérer la portée pratique, car les liens entre ces trois niveaux de décision sont considérables. Comme l'écrit C. Lardinois (1985, p. 9), un problème tel que celui de la détermination d'une fréquence des services relève à la fois de préoccupations d'ordre stratégique et d'ordre tactique, tout en ayant des liens étroits avec les questions d'affectation du personnel au niveau de la gestion à court terme. En fait, il faut bien voir qu'une planification de l'offre de transport de personnes inter-cités couvre l'éventail complet des trois niveaux de décision : stratégique, tactique, et de gestion à court terme.

Deux types d'outils possibles

Les outils d'aide à la décision éventuellement disponibles relèvent de deux grands types possibles :

1) **Les uns sont des modèles de prévision** (predictive supply models). Ils s'efforcent de répondre à la question : qu'arrivera-t-il si l'on met en place tel ou tel programme quant au niveau de l'offre ? Il s'agit d'en prévoir les conséquences sur les performances de l'ensemble du système de transport, et c'est pourquoi certains auteurs parlent de "'modèles de performance". Ces programmes peuvent être considérés du point de vue de l'usager (niveaux et qualités des services) et/ou du point de vue de l'exploitant (utilisation des ressources et coûts). L'idéal serait que cette mesure de la performance soit liée à une évaluation de la demande, et si possible permette d'aboutir à une prévision de la réaction des usagers, et dans cette perspective, il est préférable de parler de modèles de prévision.

2) **Les autres sont des modèles d'optimisation de l'offre** (normative supply models). Ils ont pour but de répondre à la question : quelle politique de l'offre adopter de façon à optimiser tel ou tel objectif ? Il s'agit donc d'explorer diverses solutions possibles quant à la détermination de l'offre, de façon à identifier la plus attractive, compte tenu des objectifs ou normes retenus. Là encore, les solutions

envisagées s'appuient sur une évaluation de leurs performances en termes d'utilisation des ressources disponibles, de coûts, et de réactions de la part des usagers, et il est donc souhaitable que ces modèles soient liés à une estimation de la demande.

Qu'ils relèvent de l'un ou de l'autre type, ces modèles ont un certain nombre de points communs : tous ont pour objectif général l'amélioration de l'état de l'offre de transport. Les modèles de prévision cherchent à mieux comprendre les effets de certains choix proposés, alors que les modèles d'optimisation de l'offre essaient d'identifier une solution "optimale", compte tenu de certains objectifs retenus. Il convient aussi de noter que les deux approches, prédictive d'une part et normative d'autre part, peuvent s'appliquer théoriquement aux trois niveaux de décision définis plus haut. Par rapport à cette dernière grille, il ne faut d'ailleurs pas exclure une utilisation complémentaire de ces deux types de modèles, comme le suggère C. Lardinois (p. 10) :
- les modèles d'optimisation de l'offre paraissent convenir particulièrement dans les cas où doivent être prises des décisions d'ordre tactique, ou de gestion à court terme, permettant de déterminer la ou les solutions "optimales", particulièrement si on y trouve une démarche de type heuristique, complétée par un modèle de prévision révélant les effets sous-jacents des choix suggérés.
- d'un autre côté, les modèles de prévision peuvent être de bons outils pour trier plusieurs types de décisions possibles, dans le domaine tactique ou dans celui de la gestion à court terme, et leur utilisation peut être complétée par le recours à un modèle d'optimisation permettant d'améliorer les caractéristiques de la solution apparue comme la plus attractive.

LES MODELES DE PREVISION

"Dans le domaine des transports inter-cités de passagers, écrit C. Lardinois (p. 11), il y a relativement peu de modèles concernant la prévision des conséquences de certains choix quant à l'offre sur les performances des systèmes de transport, sauf dans le domaine aérien, et dans une moindre mesure, dans celui de la planification ferroviaire".

Les modèles de prévision dans le domaine du transport aérien

Les publications de Soumis (1979 a), Soumis et al. (1981) et Lardinois (1985) permettent de se faire une idée globale des modèles qui ont été proposés dans ce domaine. Ceux-ci cherchent à répondre à la question suivante : à partir d'un horaire donné sur les vols journaliers, et d'une information sur la répartition de la demande au cours de la journée pour chaque liaison origine-destination, comment se répartissent les passagers sur les différents vols ? Les réponses obtenues permettent aux planificateurs et aux gestionnaires des compagnies aériennes de choisir des horaires de vols en connaissant les

effets vraisemblables sur le comportement des usagers, et sur les taux de remplissage des avions.

Pour déterminer les choix des passagers par rapport à l'offre, ces modèles ont généralement recours à deux facteurs. Le premier est **l'attractivité** (attractiveness factor), qui est une fonction à la fois de la différence de temps entre l'heure de départ désirée par le passager et l'heure de départ de l'horaire, de la durée du parcours, qui dépend du nombre d'escales et de correspondances éventuelles, du type d'avion, des prix offerts, de l'image de marque de la compagnie, etc. Le second facteur entrant en ligne de compte est la **disponibilité** (availability factor) qui dépend de la capacité de l'avion, et de la demande. Comme le soulignent Soumis et al. (1981, p. 155), un des problèmes majeurs du transport aérien résulte du fait que très souvent, plusieurs liaisons origine-destination doivent se partager les sièges disponibles sur un même trajet entre deux escales. C'est là un problème très difficile à gérer pour les compagnies aériennes, et c'est aussi une très grande difficulté à résoudre dans les modèles proposés. C'est pourquoi beaucoup de ces derniers incorporent le facteur de disponibilité dans l'attractivité, par exemple grâce à une mesure de l'attractivité de différentes tailles d'avions, comme cela a été pratiqué par un modèle développé par Air Canada (Gagnon, 1967).

D'un point de vue technique, ces modèles se répartissent en deux groupes principaux.

1) Le plus important est représenté par **les modèles de type heuristique**, et celui d'Air Canada qui vient d'être mentionné en fait partie. Certains d'entre eux sont de type séquentiel (voir par exemple Koyama, 1974), c'est à dire que les passagers sont placés de façon séquentielle sur chaque vol, les excédents, quand ils existent, devant être affectés aux vols les plus proches. Le modèle d'Elias (1985) est particulièrement intéressant par la manière dont il traite le facteur d'attractivité.

2) Un autre groupe de modèles est caractérisé par le fait que les passagers sont affectés aux vols par des **méthodes de programmation mathématique**, dans lesquelles le facteur de disponibilité apparaît sous la forme de contraintes explicites. C'est dans ce groupe qu'il faut placer certains des travaux de Soumis et al. (1981) qui ont proposé un modèle appelé MAPUM (Modèle pour l'affectation des passagers, développé à l'Université de Montréal). Constatant que les modèles précédents de ce groupe, s'appuyant sur des formulations de type linéaire, avaient tendance à engendrer des solutions extrêmes dans lesquelles certains avions sont remplis à peu près à leur capacité, alors que d'autres sont vides, les auteurs ont élaboré ce modèle reposant sur une programmation non-linéaire, et utilisant le concept de "surcharge de passagers" (passenger overload) pour intégrer les contraintes de capacité. Comme d'autres modèles de prévision, MAPUM peut être utilisé dans un processus interactif pour évaluer et modifier des horaires ; mais il

peut aussi être intégré dans un modèle d'optimisation de l'offre pour engendrer automatiquement des horaires.

Toujours dans ce groupe, un autre modèle de Boumis (1979 b) utilise une approche d'optimisation du point de vue de l'usager pour déterminer l'affectation des passagers aux différents vols, tout en prenant en compte la variabilité de la demande selon les niveaux de service. Ce modèle est composé d'un ensemble d'équations non linéaires dont la solution est obtenue par le recours à la méthode de Gauss-Siedel.

Ainsi, dans le domaine des modèles de prévision pour le transport aérien inter-cités, on enregistre des travaux de recherche nombreux ; cela d'autant plus que, comme le notent Etschmaier et Mathaisel (1985), beaucoup des outils utilisés actuellement par les compagnies aériennes ne sont pas dans le domaine public. Certes, par rapport à nos préoccupations, les modèles qui viennent d'être très sommairement présentés ne paraissent pas directement utilisables pour les relations inter-cités par chemin de fer ou par autocar, notamment parce que, pour ces dernières, on ne dispose pas sur la demande d'une masse d'informations comparables à celles apportées par le système informatisé de réservation des sièges ; et aussi parce que pour l'avion, les problèmes de capacité sont beaucoup plus contraignants ; mais certains des concepts utilisés nous semblent présenter un grand intérêt. Le facteur de disponibilité, qui rend compte des problèmes de capacité, revêt beaucoup plus d'importance dans le cas des liaisons inter-cités par autocar que dans celui des relations ferroviaires. Quant au facteur d'attractivité, il nous paraît un moyen intéressant de lier l'offre à la demande, et nous aurons l'occasion d'y revenir.

Les modèles de prévision pour les relations par chemin de fer et par autocar

Si l'on passe aux relations ferroviaires et routières par autocar, la première constatation à faire est le petit nombre des travaux effectués, portant de façon spécifique sur les liaisons inter-cités.

Du côté nord-américain, des modèles d'équilibre entre l'offre et la demande ont été proposés par Tatvitie et Hasan (1980) et par Turnquist et al. (1981), mais ils s'appliquent à des corridors de transit urbain et suburbain. "Cependant, écrit C. Lardinois (1985, p. 15), les lecteurs intéressés peuvent trouver dans ces études quelques bonnes idées qui pourraient être transposées dans le domaine du transport inter-cités, et particulièrement au cas de l'autocar".

Du côté français, il existe trois outils qui offrent un intérêt par rapport aux préoccupations énoncées. Le premier est un modèle de la S.N.C.F. (Dreuil et Theyssier, 1977) sur "la détermination des horaires des trains de banlieue en heure de pointe". Il ne correspond pas exactement au problème considéré ici, mais il s'agit bien d'un modèle

de prévision, car au fur et à mesure de la construction de l'horaire, il évalue par simulation le comportement du système.

Une approche comparable a été reprise pour l'élaboration d'un "modèle de simulation pour la définition d'un réseau de lignes à grande vitesse pour le transport des voyageurs" (S.N.C.F., 1979). On utilise un modèle de simulation pour construire et évaluer des programmes d'opération (horaires de trains, et taux de remplissage) ainsi que pour déterminer la flotte de véhicules requis, et mesurer les performances d'ordre économique. Pour une demande de transport donnée, décomposée par jour, par période du jour, et par classe de service, le modèle génère une liste de mouvements de trains prenant en compte les contraintes de fonctionnement.

L'outil le plus intéressant est un "modèle d'affectation de la demande journalière dans une grille de trains" (Aurignac et Benattar, 1982), car il s'appuie sur un concept d'utilité très proche du facteur d'attractivité mis en oeuvre par Soumis (1979a) et Soumis et al. (1981), comme le souligne C. Lardinois (1985, p. 14-15). A partir des flux de passagers observés pour chaque période de la journée sur une liaison origine-destination pour une grille de trains aux horaires déterminés, le modèle évalue la distribution théorique de la demande en fonction du temps, c'est-à-dire le pourcentage de voyageurs qui désirent partir du point-origine pendant chaque période de temps (par exemple 15 minutes). Cette distribution théorique, qui reflète la demande réelle, se révèle très différente de la distribution observée, qui représente l'adaptation des voyageurs à l'horaire réel. Pour obtenir cette distribution théorique, une mesure d'utilité (on pourrait dire : d'attractivité) est associée à chaque train pour chaque catégorie de voyageurs (une catégorie est définie par une heure de départ désirée), de telle façon qu'une distribution des probabilités de choix puisse être associée à chaque train pour chaque catégorie d'usagers. Une fois connue cette distribution théorique de la demande de transport, un horaire de trains peut être choisi qui répond le mieux à cette distribution. De plus, à partir de cette distribution théorique et du niveau de la demande, on peut prévoir le nombre de passagers dans chaque train du nouvel horaire, et ainsi déterminer les capacités des trains qui répondent le mieux à la demande. Il y a là pour nous un outil très intéressant, et nous aurons l'occasion d'en reparler.

Comment poursuivre la recherche ?

Au total, pour les modèles de prévision, le bilan sur l'état actuel des outils disponibles est ainsi dressé par C. Lardinois (1985, p. 16-17) :

"A l'exception du mode aérien, nous n'avons identifié que peu de modèles de prévision qui tentent d'évaluer les conséquences de certains choix quant à l'offre sur le comportement des usagers, et/ou sur les ressources utilisées par les sociétés exploitantes. La plupart des modèles existants portent sur l'affectation des voyageurs à des

services de transport, et en particulier à des horaires de transport, représentant un réseau se développant dans l'espace et dans le temps ; la question centrale est celle de la modélisation adéquate du comportement des voyageurs face à plusieurs alternatives caractérisées à chaque moment de la journée par des attractivités et des disponibilités (en termes de capacité) différentes.

"De notre point de vue, c'est effectivement la direction de recherche la plus importante, et beaucoup de progrès sont à faire dans ce domaine. En d'autres mots, nous pensons que, quel que soit le mode (aérien, ferroviaire, ou routier par autocar), des possibilités de recherche considérables résident dans le développement de nouveaux modèles de prévision des flux de passagers sur des réseaux inter-cités qui reflètent de façon réaliste les changements introduits dans la conception des services et leurs prix. Cela est perticulièrement vrai dans un contexte de dérèglementation et de compétition accrue, qui donne aux compagnies de transport de nouvelles marges de manoeuvre dans leurs politiques de prix et de conception des services".

Dans cette perspective, C. Lardinois (1985, p. 17) propose une classification des approches possibles en fonction de plusieurs facteurs :
- le type et le nombre de compagnies de transport considérées : est-ce un modèle pour une seule compagnie, pour un seul mode et plusieurs compagnies, ou pour plusieurs modes et plusieurs compagnies ?
- considère-t-on une demande fixe, ou une demande variable ? En particulier celle-ci est-elle susceptible d'évoluer en fonction de l'état de l'offre ?
- si l'on envisage une procédure d'optimisation, celle-ci est-elle une optimisation du point de vue de l'exploitant, ou une optimisation du point de vue de l'usager ?
- enfin, les limites de capacité sont-elles prises en compte, et comment ?

Face à une telle "grille", il est clair que le modèle de prévision pour le transport aérien de Soumis et al. (1981) constitue un bon exemple d'un modèle pour une seule compagnie, utilisant une approche d'optimisation du point de vue de l'exploitant, avec une demande fixe. C. Lardinois (ibid.) souligne qu'il s'agit là d'une direction de recherche très prometteuse qui devrait être suivie par d'autres travaux permettant de modéliser de façon plus réaliste la demande, et son interaction avec l'état de l'offre, tout en étendant ce champ de recherche à d'autres modes de transport.

A cet égard, l'auteur identifie plusieurs directions de recherche en vue de l'amélioration de ces outils, et nous en proposons le résumé suivant :

1) La demande doit pouvoir varier en fonction des services offerts et de leurs prix. Ceci est de plus en plus important, compte-tenu des changements de politiques de l'offre à prévoir de la part des

exploitants. Plusieurs modèles, et notamment celui de Boumis (1979 b), ont déjà tenté d'établir une relation entre la demande et les niveaux de services, mais il y a encore beaucoup à faire dans ce domaine, ainsi que dans celui des rapports entre la demande et les prix des services offerts.

2) Face aux démarches en vue d'une optimisation du point de vue de l'exploitant, celles qui visent une optimisation du point de vue de l'usager doivent être approfondies, car sur le plan théorique, elles fournissent une représentation plus réaliste du comportement et du processus de décision des voyageurs. Là encore, le modèle de Boumis (1979 b) a déjà exploré cette approche, mais ces travaux doivent être poursuivis.

3) Il faut également approfondir la prise en compte des limitations de capacité et des effets de congestion correspondants. Jusqu'à présent, on l'a vu, ce facteur est pris en considération de deux manières : soit en retenant des contraintes explicites de capacité, ce qui rend le problème très difficile à résoudre, soit en incorporant le facteur de disponibilité dans le facteur d'attractivité. Le modèle de Boumis et al. (1981) adopte une approche différente en incorporant à la fonction objectif un facteur de disponibilité fondé sur le concept de surcharge de passagers. Ces efforts doivent se poursuivre en recherchant une représentation plus détaillée de la disponibilité, et en tenant compte des catégories d'usagers (1ère et 2ème classe).

4) Les problèmes d'encombrement n'ont pas été suffisamment explorés, particulièrement dans les transports aériens. Il s'agit d'analyser les effets des surcharges aux aéroports sur les performances de l'ensemble du système de transport. En fait, les retards aux aéroports, dûs à des limitations de capacité, du côté aérien comme du côté terrestre, ont des conséquences, à l'échelle des réseaux qui devraient être intégrés en tant que facteur de régularité de marche (reliability factor) dans les modèles d'affectation de passagers.

5) La prise en compte de l'existence de plusieurs compagnies concurrentes doit s'exprimer par la production de modèles pour un seul mode et plusieurs compagnies, voire pour plusieurs modes et plusieurs compagnies. Dans cette perspective, un modèle d'affectation des passagers serait beaucoup plus réaliste et utile, puisqu'il permettrait à une compagnie de tester ses propres stratégies face à celles déployées par ses concurrents, aussi bien que les éventuelles stratégies nouvelles de ses concurrents.

En attendant l'éventuelle émergence d'un modèle multi-modes et multi-compagnies -ce qui n'a encore été tenté par personne, probablement à cause de la complexité du problème et de la rareté des données appropriées- une première étape en ce sens est représentée par la mise au point de simulateurs d'entreprises de transport, tels que celui proposé par C. Lardinois et al., sous le nom de JET-SET (1985, a et b). Il s'agit d'un jeu de simulation de transport multi-modal et

multi-compagnies, dans lequel, écrit C. Lardinois (1985, p. 20), chacun des participants joue un rôle de gestionnaire/planificateur pour le compte d'une compagnie de transport inter-cités sur des marchés fictifs, sous la houlette d'un "maître de jeu" assurant le rôle d'agence gouvernementale, capable d'influencer l'évolution du contexte économique et réglementaire. JET-SET comprend des modèles de transport pour la détermination du niveau de la demande inter-cités et du choix des itinéraires en fonction des niveaux de services et de prix fournis par toutes les compagnies ; la voiture est un autre mode disponible, à capacité illimitée. Le modèle d'affectation des voyageurs distribue ces derniers sur chaque itinéraire en prenant en compte son attractivité et sa disponibilité. Les passagers en excédent sur certains itinéraires, à cause d'un manque de capacité sur quelques tronçons, sont réaffectés sur les autres itinéraires les plus attractifs, jusqu'à ce que chacun ait son itinéraire fixé, ou voyage en voiture.

Ce type de simulateur permet de poser le problème en termes opérationnels, d'analyser comment se positionnent les différents facteurs entrant en jeu, les uns par rapport aux autres. Dans cette perspective, pour les problèmes considérés ici, cela nous paraît une idée très intéressante à mettre en oeuvre.

LES MODELES D'OPTIMISATION DE L'OFFRE

Parmi ces modèles, C. Lardinois (1985, p. 21) distingue trois catégories selon l'horizon de temps considéré et l'importance des investissements requis. En général, ce sont des modèles qui comprennent une fonction ou procédure pour exprimer la performance du système de transport étudié, du point de vue des usagers, ou du point de vue des exploitants. Beaucoup de ces modèles comprennent aussi un interface avec des modèles de demande, ou des modèles d'affectation des voyages.

Les modèles de conception de réseaux (network design models) comprennent tous les modèles d'optimisation concernant le choix des arcs d'un réseau (routiers, ferroviaires ou autres) et des noeuds (gares routières ou ferroviaires, aéroports, etc.), avec leurs capacités respectives, à inclure ou à ajouter dans un réseau de transport. Dans cette catégorie, les principaux problèmes sont d'ordre stratégique, à long terme : il s'agit de définir les infrastructures des réseaux de transport, c'est-à-dire de planifier le choix et la capacité des liaisons comme la localisation et la capacité des noeuds, ou terminaux, tout en prévoyant les coûts d'investissement et de fonctionnement correspondants. Cependant, pour certains cas, des décisions de conception de réseaux n'impliquent pas d'investissements majeurs ni de constructions d'infrastructures (Wong, 1984). C'est le cas, par exemple, lorsqu'on décide d'ajouter de nouveaux services d'autocar sur certains itinéraires, ce qui peut être considéré comme une adjonction de liaisons sur un réseau. Toutefois, de telles décisions sont plus facilement réversibles, et on touche ainsi à des problèmes de fonctionnement qui tombent dans la catégorie suivante.

Les modèles de fabrication d'itinéraires et d'horaires (Routing and/or scheduling models) s'appliquent aux décisions à plus court terme d'ordre tactique, ou dans le domaine de la gestion quotidienne, et ils concernent l'affectation des véhicules, et la confection de leurs horaires, ainsi que ceux de leur personnel d'accompagnement, selon les différents itinéraires possibles dans le réseau. On y traite donc aussi des problèmes de définition de la taille de la flotte de véhicules requis, selon chaque type, en fonction d'une politique cohérente pour les itinéraires de ces véhicules (Bodin et al., 1983). Ces modèles portent donc davantage sur la planification détaillée et la gestion des services que ceux de la catégorie précédente, qui placent l'accent sur les coûts d'investissement.

Les modèles de régulation du trafic (Transportation control systems) traitent des problèmes de suivi du trafic et du comportement des systèmes de transport en temps réel, ce qui inclut par exemple les système de contrôle du trafic aérien.

Dans le cadre des objectifs qui sont les nôtres pour ce travail, il est vrai que ces modèles d'optimisation de l'offre ne sont pas immédiatement utiles, notamment parce qu'on ne dispose pas pour les relations intercités par train ou par autocar des mêmes masses d'informations sur l'état de la demande que dans le domaine aérien ; aussi parce que la prévision et la simulation paraissent une première étape plus accessible, dans la mesure où l'on y fait varier des conditions d'offre dans un cadre qui reste marqué par la clause "toutes choses égales par ailleurs", alors qu'à première vue, l'optimisation pourrait impliquer une connaissance beaucoup plus fine des relations qui existent entre différents paramètres du système. Néanmoins, il nous paraît utile, en suivant toujours les travaux de C. Lardinois (1985, p. 22 et suiv.) de donner quelques-unes des caractéristiques de ces modèles.

Les modèles de conception des réseaux

Ces modèles ont pour objectif l'amélioration des réseaux de transport, par l'addition de nouvelles liaisons, ou l'augmentation de capacité de certaines liaisons existantes. Même s'ils s'appliquent à plusieurs modes, la plupart de ces modèles ont été développés en vue de la planification du réseau routier, qui a été, pour de nombreuses années, -au moins en Amérique du Nord- la question dominante en ce qui concerne l'offre de transport (Turnquist, 1985).

Plusieurs publications présentent une revue intéressante de ces travaux (Dantzig et al., 1976, chap. 4 ; Boyce, éd., 1979 ; Wong, 1984 ; Magnanti et Wong, 1984). Deux études portent de façon plus précise sur les problèmes qui sont les nôtres.

Boyce et Janson (1980) présentent un exemple typique de modèle de conception de réseau applicable aux transports de passagers inter-cités, par chemin de fer ou par autoroute. Il s'agit d'un problème

discret de conception de réseau. Son objectif est de minimiser les dépenses totales de voyage, compte tenu de contraintes budgétaires sur les coûts de construction des améliorations de capacité sur les liaisons. Le problème peut être résolu pour une distribution des voyages donnée, ou pour une distribution des voyages qui est une fonction de coûts fixes de voyage d'une zone à l'autre.

De son côté, Hamsawi (1972) a développé un modèle de planification d'un nouveau système de transport public dans un corridor déjà desservi par d'autres modes, et il l'a appliqué à la mise en oeuvre d'une desserte ADAC (Avions à décollage et atterrissage courts) entre Toronto et Montréal. Ce modèle s'appuie sur un ensemble de relations qui estiment :
- la demande sur le système nouveau en fonction du trafic total de tous les transports publics, et de la qualité des services offerts par ces derniers ;
- les caractéristiques de conception du nouveau système (fréquences, vitesses, capacité des véhicules, etc) ;
- les coûts d'investissement et de fonctionnement du système comme les coûts pour les usagers.
Il s'agit de minimiser le coût total du système par passager-km. transporté, et les deux variables de base sont la vitesse du voyage et la capacité du véhicule.

Les modèles de fabrication d'itinéraires et d'horaires

Ces modèles sont beaucoup plus proches de nos préoccupations, puisqu'il s'agit de planification et de gestion de flottes de véhicules et de leur personnel d'accompagnement (Bodin et al., 1983). Les décisions au sujet de la configuration spatiale des mouvements de véhicules relèvent des problèmes de "conception (fabrication) d'itinéraires" (routing problems). Si l'on prend en considération explicite les heures de visite de ces véhicules à différentes localisations, on est en présence de problèmes de "choix d'horaires" (scheduling problems). Le plus souvent, les décisions d'ordre temporel et d'ordre spatial interfèrent étroitement, ce qui aboutit à des "problèmes combinés de conception d'itinéraires et d'horaires".

De son côté, Turnquist (1985), résume ce type d'analyse en disant qu'elle a pour but de déterminer un ensemble d'itinéraires sur lesquels vont circuler des véhicules, de choisir des fréquences de services sur ces itinéraires à l'intérieur des limites fixées par le nombre de véhicules disponibles, d'affecter des véhicules particuliers à chacun de ces services, et de doter ces véhicules de leur personnel d'accompagnement. Une telle analyse a donc des liens étroits avec le problème de la taille d'une flotte de véhicules.

La recherche dans ce domaine, qui relève des niveaux de décision tactique et de gestion quotidienne, a été considérable, principalement dans des secteurs qui ne sont pas ceux du transport de passagers inter-cités : systèmes de ramassage et de livraison de marchandises,

transports scolaires, transports urbains, transports à la demande, etc. Il faut cependant relever l'exception majeure du transport aérien inter-cités, pour lequel d'importantes recherches ont été effectuées sur les problèmes de fabrication d'itinéraires et d'horaires. Et C. Lardinois, que nous suivons ici (1985, p. 25), ajoute : "il faut souligner que la plus grande partie des percées théoriques et méthodologiques effectuées jusqu'à présent pourraient être étendues aux autres modes de transport inter-cités de passagers". Et il renvoie le lecteur aux travaux de Bodin et al., 1983, Golden, 1984, Rousseau, 1984, et Laporte et Norbert, 1985.

Dans le secteur du transport aérien, ces modèles tâchent de répondre à la question suivante : à partir d'une demande de transport estimée pour chaque liaison origine-desrtination, d'une certaine configuration du réseau, et des caractéristiques de fonctionnement des avions, déterminer un horaire des vols, avec leurs affectations d'avions, qui maximise les profits de la compagnie, et si possible, la satisfaction des passagers en ce qui concerne la qualité du service. C. Lardinois présente une revue historique de la recherche dans ce domaine (1985, p. 26-27), et il souligne, avec Turnquist (1985) que la direction la plus prometteuse est celle ouverte par les travaux de Soumis et al. (1980) déjà mentionnés.

Dans le secteur du transport ferroviaire et routier par autocar, il n'y a pratiquement rien dans la littérature existante, affirme C. Lardinois (1985, p. 28), mais une partie des travaux théoriques et méthodologiques sur les problèmes de fabrication d'itinéraires et d'horaires, notamment dans le domaine du transport urbain, pourraient être appliqués à la planification tactique et à la gestion quotidienne des autocars inter-cités (voir par exemple Bodin et al., 1983).

Les choix d'horaires pour autocars inter-cités ont été abordés par Ceder et Gonen (1980), Ceder et Stern (1981). Le premier de ces articles décrit le processus de planification de la Compagnie Nationale d'autocars d'Israël (Israel National Bus Carrier), en cinq étapes : planification des voyages, planification des itinéraires d'autocars, confection des horaires offerts aux voyageurs, affectation des autocars aux voyages, affectation des chauffeurs. Puis les auteurs présentent un modèle pour l'affectation des autocars à des horaires de service donnés. On y trouve deux éléments. Le premier est un modèle d'enchaînement des voyages d'autocars dans un ordre séquentiel, de telle manière que chaque enchaînement commence à un dépôt, comprend plusieurs itinéraires d'autocars (déterminés dans une phase précédente), alternant avec des temps morts et/ou des voyages haut-le pied, et finit au même dépôt. Les objectifs de cette première étape sont de minimiser la taille de la flotte (en maximisant les liens entre itinéraires), et de minimiser les voyages haut-le pied et les temps morts (donc en maximisant l'utilisation des autocars et des chauffeurs). Le deuxième élément est un simple modèle de transport, qui affecte les autocars des différents dépôts aux horaires d'autocars élaborés dans la première étape.

Dans le domaine du transport ferroviaire, C. Lardinois a identifié un modèle proposé par Bourachot (1985) pour la production automatique d'un programme pour les mouvements des trains dans une gare de voyageurs, en respectant toutes les contraintes imposées par les conditions physiques et le fonctionnement du réseau (longueur des quais disponibles, possibilités d'entrées ou de sorties simultanées des trains, selon la configuration des installations de sécurité), et en recherchant les facilités des correspondances (si possible, sur le même quai), et l'affectation des trains de même destination sur le même groupe de voies (ce qui facilite l'orientation des voyageurs).

Les modèles de dimensionnement de la flotte (fleet sizing models) ont été l'objet d'une synthèse récente par Turnquist (1985), qui distingue deux catégories. Les formulations déterministes du problème du dimensionnement de la flotte ont été étudiées de façon détaillée, en conjonction avec des problèmes de choix d'itinéraires et d'horaires.

Fourer et al. (1977) présentent un modèle de programmation linéaire pour des services ferroviaires de passagers, modèle développé pour obtenir une estimation de la flotte, et pour analyser les effets de différentes stratégies de gestion de la flotte dans le corridor du Nord-est des Etats-Unis, de Boston à Washington. A partir d'un horaire des trains sur ce corridor (avec la ville et l'heure de départ, la ville et l'heure d'arrivée pour chaque train), et compte tenu de la demande pour chaque train (sous forme d'une capacité minimale), le modèle détermine la flotte requise, tout en minimisant les investissements et les coûts de fonctionnement. Les stratégies de gestion de la flotte qui ont été modélisées permettent différentes fréquences entre des paires de villes, ainsi que la modification de la longueur des trains à certaines gares.

De leur côté, Gertsbach et Gurevich (1977) énoncent une méthode générale pour la solution d'un problème de dimensionnement de la flotte et de confection d'itinéraires et d'horaires. La question peut être posée de la façon suivante : à partir d'un horaire de véhicules, défini pour chaque itinéraire par la gare et l'heure de départ, le gare et l'heure d'arrivée, déterminer le dimensionnement minimal de la flotte requise, et les itinéraires optimaux de chaque véhicule. Cette méthode suppose que chaque véhicule peut prendre en charge n'importe quel itinéraire, et qu'il n 'y a donc pas de contraintes de capacité.

Dans le groupe des formulations stochastiques du problème du dimensionnement de la flotte, Turnquist (1985) souligne l'insuffisance de la recherche sur les systèmes complexes. Cependant, écrit C. Lardinois (1985, p. 31), certains efforts de modélisation ont bien intégré des éléments stochastiques, notamment ceux de Soumis et al. (1980) pour un modèle de fabrication d'itinéraires et d'horaires d'avions. Dans ce modèle, les variables de décision concernent la flotte, le plan des fréquences et les horaires. Il s'agit donc bien d'un problème de dimensionnement de la flotte et de confection d'itinéraires et d'horaires d'avions, qui intègre des éléments

stochastiques portant sur la demande de transport et la capacité des avions disponible.

Enfin, toujours dans les problèmes de fabrication d'itinéraires et d'horaires, **les modèles de choix d'horaires pour les équipages**, ou le personnel d'accompagnement (crew scheduling models), ont été l'objet de recherches nombreuses depuis le début des années 1970, particulièrement dans les secteurs du transport urbain et du transport aérien. En revanche, peu de travaux ont été publiés au sujet du transport inter-cités par autocars ; très peu dans le domaine ferroviaire.

Comme l'écrit Rousseau (1984), ce problème de l'organisation des horaires de la main-d'oeuvre dans les systèmes de transport apparaît dans deux cas principaux : celui du personnel d'accompagnement des véhicules, et celui du personnel affecté au service des véhicules, des passagers et du fret dans les gares, stations, et/ou aéroports. Les deux cas ont été l'objet de nombreuses études, qui tiennent compte des contraintes difficiles imposées par les conventions collectives, les règlements gouvernementaux, et les politiques des compagnies.

Il est vrai que les problèmes de choix d'horaires pour les personnels d'accompagnement sont très liés à ceux qui concernent les véhicules, de sorte que, théoriquement, ces deux catégories de problèmes devraient être intégrées dans le même modèle, particulièrement dans le cas où les coûts représentés par le personnel d'accompagnement constituent la plus grande part des coûts de fonctionnement du véhicule, ce qui se vérifie pour les transports par autobus ou par autocar. Mais dans la plupart des démarches existantes, en fait, l'organisation des horaires des véhicules est effectuée avant celle des équipages, et de façon séparée (voir Bodin et al., 1983 ; Rousseau, 1984).

Les modèles de régulation du trafic

Ces modèles traitent du suivi et de la régulation des mouvements de véhicules, plus ou moins en temps réel, dans les domaines routier et ferroviaire comme dans le domaine aérien. Ils s'appuient sur des équipements qui relèvent du "hardware" (signaux de régulation du trafic, systèmes de communications entre les contrôleurs du trafic et les pilotes, etc.), comme sur des techniques appartenant au "software" (modèles de simulation des arrivées ou des entrées de véhicules, modèles d'aide à la décision pour le contrôle des queues d'attentes d'avions aux aéroports, etc.).

S'il est vrai que beaucoup de ces outils échappent aux préoccupations abordées dans ce rapport, certains s'intéressent à l'amélioration de la fiabilité et de la capacité des systèmes de transport. C'est le cas particulièrement pour les systèmes de régulation du trafic aérien. Dans cette perspective, ces modèles font partie des outils de planification et de gestion de l'offre de

transport inter-cités. A cet égard, on peut citer plusieurs exemples. Le modèle de Rue et Rosenshine (1985) est un modèle d'aide à la décision pour la régulation de l'accès à l'atterrissage dans un aéroport. De leur côté, Mangoubi et Mathaisel (1985) proposent un modèle d'affectation de chaque vol à une porte de l'aéroport. Dans la même veine, Hamon (1980) avait proposé un modèle d'affectation des avions à des positions de stationnement. Pour une synthèse sur ces modèles, voir une bonne contribution de M.A. Turnquist (1985).

Comment poursuivre la recherche ?

Dans le domaine de la planification des réseaux routiers, les modèles de conception de réseaux au niveau stratégique de la prise de décisions ont été l'objet de développements considérables en Amérique du Nord, et C. Lardinois (1985, p. 33) affirme que pour les transports inter-cités, "ce n'est plus un secteur crucial de la recherche, sauf en ce qui concerne la planification et la gestion de l'entretien et de la réhabilitation des réseaux". En revanche, les modèles de conception de réseaux pour les autres modes (ferroviaire, aérien, et routier par autocars) n'ont pas été l'objet de travaux aussi approfondis, et il y a là d'importantes possibilités pour la recherche à venir. Il s'agit de mettre au point de nouveaux modèles de conception de réseaux, pour aider les compagnies de transport à résoudre certains choix difficiles, au niveau stratégique comme au niveau tactique de la prise de décisions.

Dans ces travaux, souligne C. Lardinois (ibid.), il est absolument indispensable de considérer la demande comme une variable, même si dans la littérature jusqu'à présent, le nombre de voyages origine-destination a été le plus souvent présenté comme une donnée fixe, ce qui est certainement très malheureux pour les transports urbains comme pour les transports inter-cités de passagers. En réalité, dans la mise en place d'un système de transport inter-cités, ou l'amélioration d'un système existant, comme dans les problèmes de localisation d'un nouveau terminal (gare, station, aéroport, etc), la demande ne peut être considérée comme une donnée fixe, puisqu'elle dépend à la fois des coûts des voyages, et de la qualité de l'offre. En d'autres mots, comme le souligne Boyce (1979), le problème de la conception d'un réseau de transport est un problème d'équilibre d'un ordre supérieur, dans lequel l'offre, la localisation des activités et la demande sont les éléments constitutifs d'un véritable système.

En ce qui concerne les problèmes de conception d'itinéraires et d'horaires, et les problèmes de dimensionnement de la flotte, beaucoup de travaux ont été consacrés à des formulations générales, et à des techniques de solution pouvant aller jusqu'aux applications, particulièrement dans le secteur aérien, et dans celui des transports par autocars. Cependant, compte tenu de la nécessité d'une plus grande efficacité dans l'utilisation des ressources humaines et matérielles disponibles, dans le contexte actuel de déréglementation, de limitations budgétaires et de compétition accrue, il y a place pour

beaucoup d'autres travaux théoriques et appliqués dans ce domaine, y compris dans le secteur du transport aérien.

C. Lardinois (1985, p. 34) souligne que ces possibilités de recherche dépendent étroitement des mêmes facteurs que ceux qui ont déjà été identifiés pour les modèles de prévision : prise en compte d'une demande variable, introduction d'une approche d'optimisation du point de vue de l'usager, même dans des problèmes à grande échelle, meilleure représentation des limitations de capacité sur les différentes liaisons des réseaux, et prise en considération des retards qui s'étendent à un réseau tout entier, à cause des problèmes d'engorgement dans certaines installations terminales. En d'autres termes, la plus importante direction de recherche a pour objectif la mise en oeuvre de modèles de fabrication d'itinéraires et d'horaires à grande échelle, intégrant :
- une représentation très élaborée dans la performance des services de transport en termes d'attractivité, de disponibilité et de fiabilité ;
- et une formulation de l'affectation des passagers sur les divers itinéraires, combinée à un modèle de la demande permettant à celle-ci de varier.
Dans de tels modèles, il faut prévoir des formulations de type stochastique permettant d'obtenir une meilleure représentation des situations réelles.

De façon plus générale, pour les modèles de conception des réseaux,comme pour les modèles de fabrication d'itinéraires et d'horaires, l'estimation des coûts de fonctionnement à l'échelle de réseaux complexes constitue une réelle difficulté, d'autant plus que l'utilisation des ressources est en fait partagée entre plusieurs composantes de l'offre et de la demande. Ainsi, une voie de chemin de fer entre deux villes est utilisée à la fois par des trains de marchandises, et par des trains de voyageurs de différentes classes desservant des paires de villes différentes ainsi que par différents marchés de la demande pour chaque paire de villes. Dans un tel contexte, que signifie, à l'échelle du réseau, le coût de fonctionnement par train-kilomètre, par voiture-kilomètre, et/ou par passager-kilomètre ? Pent-on réellement appliquer ces types d'unités de coût à un réseau entier, quand nous savons que les trafics des véhicules et les flux de passagers ne sont pas distribués uniformément sur le réseau ? Evidemment, les difficultés dans ce domaine s'expliquent en partie par l'absence de données détaillées, complètes et cohérentes.

Par ailleurs, pour tous ces modèles, y compris ceux qui portent sur la régulation du trafic, outre la recherche des formulations mathématiques les plus élaborées et les plus élégantes, il importe de développer des approches de type interactif, permettant de s'appuyer sur les expertises humaines pour explorer toutes les solutions possibles en respectant les contraintes spécifiques de la vie réelle.

LA NECESSITE DES SYSTEMES INFORMATISES D'AIDE A LA DECISION

Pour résoudre l'ensemble des problèmes de planification et de gestion qui viennent d'être évoqués, on ne peut échapper à la nécessité d'avoir recours à des systèmes d'aide à la décision informatisés permettant à l'utilisateur, voire même à plusieurs utilisateurs, de participer au processus de décision de manière interactive. Plusieurs facteurs justifient cette manière de voir, et en suivant C. Lardinois (1985, p. 36), on peut brièvement les rappeler :

1) Il s'agit d'un processus de décision dynamique et très complexe, à cause de la multiplicité et de la diversité des problèmes à considérer, de la nécessité de prendre des décisions à différents niveaux de l'organisation, et de l'obligation de travailler à différents horizons dans le temps. Ces décisions sont en interaction les unes avec les autres, et elles doivent prendre en compte un certain nombre de contraintes imposées par le contexte technologique et socio-économique. Un seul modèle ne peut représenter en détails tout ce processus de prise de décisions aux différents niveaux stratégique, tactique, et de gestion à court terme.

2) Il ne s'agit pas seulement de bâtir de bons modèles et de mettre au point des techniques de solution efficaces, mais aussi de trouver les moyens de mettre en place ces modèles et de les faire accepter par l'organisation. Pour cela, il faut éviter que l'utilisateur ait l'impression de perdre le contrôle du système. Bien plus, il est bon de lui permettre d'insérer son expérience d'homme et son intuition dans la recherche d'une solution.

C'est pourquoi il faut considérer que les modèles évoqués ici sont des outils qui peuvent être inclus dans un système interactif dynamique capable de rassembler et de traiter de nombreuses données, et de fournir des solutions réalistes et acceptables pour l'utilisateur, en tenant compte de la complexité des situations réelles. Les trois composantes principales d'un tel système d'aide à la décision sont les suivantes :
- une base de données comprenant des procédures de manipulation de ces données à usage interne ;
- une démarche interactive permettant à l'utilisateur d'entrer et de modifier des données, de participer à la définition du processus de traitement des données à envisager, et d'intervenir dans le déroulement du processus en introduisant des contraintes supplémentaires, ou en modifiant celles qui existent ;
- un ensemble d'algorithmes qui peuvent être modifiés ou remplacés par d'autres, selon la production de la littérature scientifique.

Ces outils ne sont pas encore très nombreux, mais dans le domaine du transport inter-cités de passagers, on peut citer les systèmes RAILNET et AFAIG développés par l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. Le premier est un système informatisé interactif graphique pour la planification tactique et la gestion à court terme des chemins

de fer (Rivier et Tzieropoulos, 1983 ; Genton et Rivier, 1982 ; Tzieropoulos, 1984). Le second est lui aussi un système informatisé interactif graphique pour l'analyse et la mise en oeuvre des mouvements de trains dans une gare de voyageurs (Bourachot, 1985). Par ailleurs, les travaux de Ceder et Gonen (1980) pour la planification des transports par autocars en Israël soulignent également tout l'intérêt d'un système informatisé interactif homme-machine dans ce processus. De leur côté, Etschmaier et Mathaisel (1985) ont bien mis en valeur la tendance actuelle à développer des outils d'aide à la décision et à la planification dans lesquels une grande partie du travail peut être effectuée par ordinateur, tout en laissant aux hommes la plus grande part des décisions et des choix. Ils montrent également que dans ces systèmes à développer, des modèles quantitatifs sont très utiles pour élaborer des horaires (modèles d'optimisation de l'offre) et pour les évaluer (modèles de prévision), en fonction des critères des différentes divisions de l'organisation considérée. Ainsi se dégage l'importance croissante que beaucoup de chercheurs reconnaissent à la nécessité de développer des outils interactifs d'aide à la décision.

Il importe également de ne pas perdre de vue que le développement et le perfectionnement de ces modèles de prévision et d'optimisation de l'offre, dans le cadre de systèmes informatisés d'aide à la décision, ne sont possibles que si l'on dispose de données complètes et détaillées, à jour, cohérentes et de très grande qualité, notamment sur le trafic et la demande. Dans cette perspective, il n'y a pas de progrès décisifs dans ce domaine sans la collaboration étroite de grandes sociétés de transport, résolues à développer de tels outils en prenant appui sur leurs propres banques de données.

* * *

Cette revue des modèles existants concernant l'offre dans le vaste domaine du transport inter-cités de passagers a permis de caractériser ces modèles selon l'approche (modèles de prévision, et modèles d'optimisation de l'offre), et en fonction des niveaux de prise de décisions (planification stratégique et tactique, gestion à court terme). De vastes domaines de recherche sont ainsi apparus, plus ou moins explorés.

Dans cette perspective, les problèmes posés au début de ce chapitre appellent un certain nombre de réponses :

1) A partir de la littérature scientifique existante, il semble bien qu'on ne dispose pas, à l'heure actuelle, d'outils graphiques d'aide à

la décision pour la planification des transports inter-cités de passagers, permettant de comparer, dans l'espace et dans le temps, la qualité de l'offre sur différentes liaisons inter-cités, et de l'évaluer sur une période de 24 heures.

2) Les travaux qui ont été commencés dans ce domaine doivent donc être poursuivis, d'autant plus qu'ils tombent dans des domaines de recherche reconnus, où il y a encore beaucoup de travail à faire. On a vu que si, dans le domaine du transport aérien inter-cités, des travaux très intéressants ont déjà été effectués, en revanche, le champ des liaisons inter-cités par autocars et par trains reste encore très peu exploré.

3) L'objectif qui consiste à vouloir développer dans ce champ un outil interactif graphique d'aide à la décision correspond à une nécessité de plus en plus reconnue.

4) Compte tenu des difficultés non négligeables à prévoir dans le développement de tels outils, notamment pour la prise en compte d'une demande variable, et pour la prise en compte des coûts, une première étape pourrait consister à développer un outil de simulation, permettant de tester sur des situations plus ou moins fictives, les réactions du système, et de voir comment les différents facteurs interviennent les uns par rapport aux autres.

5) Enfin, il ne faut pas perdre de vue que l'objectif est assez ambitieux, et que dans cette perspective, un outil d'aide à la décision satisfaisant ne pourra être mis au point que si une ou plusieurs sociétés de transport s'y intéressent suffisamment pour y consacrer un certain nombre de leurs ressources, éventuellement en collaboration avec certaines autorités gouvernementales désireuses de se doter des outils d'aide à la planification nécessaires dans ce domaine.

REFERENCES

ASSAD, A.A. (1980). "Modelling of rail networks : toward a routing/make up model". Transportation Research B, 14B, 101-114.

AURIGNAC, A. et BENATTAR, M. (1982). "Modèle d'affectation de la demande journalière dans une grille de train". Direction des Etudes générales et de la recherche, Société nationale des chemins de fer, France. Revue Générale des Chemins de Fer, Avril 1982, et repris dans Les Cahiers Scientifiques de la Revue Transport.

BODIN, L., GOLDEN, B., ASSAD, A. and BALL, M. (1983). "Routing and scheduling of vehicles and crews. The state of the art". Computers and Operations Research 10, 2, 63-211.

BOURACHOT, J. (1985). "Computer aided design for the operation and the track layout of the passenger railway stations : interactive-graphic model AFAIG". Transportation Planning and Technology 9, 271-283.

BOYCE, D.E. (Editor) (1979). "Transportation network design". Transportation Research B 13B, 1.

BOYCE, D.E., JANSON, B.N. (1980). "A discrete transportation network design problem with combined trip distribution and assignment". Transportation Research B 14B, 147-154.

CEDER, A., GONEN, D. (1980). "The operational planning process of a bus company". UITP Revue 29, 207-218.

CEDER, A., STERN, H.I. (1981). "Deficit function bus scheduling with dead-heading trip insertions for fleet size reduction". Transportation Science 15, 4, 338-363.

DANTZIG, G.B., MAIER, J.F. and LANSDOWNE, Z.F. (1976). "The Application of Decomposition to Transportation Network Analysis". Control Analysis Corporation Tech. Rep. No. DOT-TSC-OST-76-26, Palo Alto, CA.

DREUIL, J. THEYSSIER, J. (1977). "La détermination des horaires des trains de banlieue en heure de pointe". Direction des études générales et de la recherche, Société nationale des chemins de fer, France. Revue Générale des Chemins de Fer, mai 1977.

ELIAS, A.L. (1979). "The Development of an Operational Game for the U.S. Domestic Airline Industry". Report R78-5, Flight Transportation Laboratory, Massachusetts Institute of Technology.

ELIAS, A.L. (1985). "A Passenger Demand Allocation Model for Airline Simulations"'. Working paper, Massachusetts Institute of Technology.

ETSCHMAIER, M.M., MATHAISEL, D.F.X. (1985). "Airline scheduling : an overwiew". Transportation Science 19, 2, 127-138.

FLORIAN, M., GAUDRY, M. (1980). "A conceptual framework for the supply side in transportation systems". Transportation Research B 14B, 1-8.

FLORIAN, M., GAUDRY, M. (1981). "Transportation Systems Analysis : Illustration and Extensions of a Conceptual Framework". Publication n° 227, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal.

FOURER, R., GERTLER, J.B. and SIMKOWITZ, H.J. (1977). "Optimum fleet sizing in the northeast corridor". Transportation Research Record 656, 40-45.

GAGNON, G. (1967) "A model for flowing passengers over airline network". Transportation Science 1, 232-248.

GAUDRY, M., WILLS, M.J. (1978). "Estimating the funtional form of travel demand models". Transportation Research 12, 257-289.

GAUDRY, M. (1984). "Functional form and stochastic specification : current applications to aggregate time-series and cross-sectional travel demand models", in Transportation Planning Models , Florian, M. (ed.), North-Holland, 61-78.

GENTON, D.L., RIVIER, R.E. (1982). "Outils informatiques d'aide aux planificateurs". Rail International 4.

GERTSBACH, I., GUREVICH, Y. (1977). "Constructing an optimal fleet for a transportation schedule". Transportation Science 11, 1, 20-36.

GOLDEN, B.L. (1984). "Introduction to and recent advances in vehicle routing methods", in Transportation Planning Models, Florian, M. (ed.), North-Holland, 383-418.

HAMON, J.P. (1980). "Automatic assignment of aircraft to parking positions. Formulation and application to CGD terminal 2". 20th AGIFORS Symposium, 489-523.

HAMSAWI, J.G. (1972). "Intercity Passenger Transport : A System Design Optimization Model". Technical Report 72-1, Faculty of Engineering, Carleton University.

KOYAMA, R. and YASUDA, Y. (1974). "A load distribution and revenue calculation model". 14th AGIFORS Symposium, 405-435.

LAPORTE, G., NOBERT, Y. (1985). "Exact Algorithms for the Vehicle Routing Problem". Publication G-85-11, GERAD, Ecole des Hautes Etudes Commerciales. To be published in Surveys on Combinatorial Optimization, Martello, S., Laporte, G., Minoux, M. and Rebeiro, C. (ed.), North-Holland Publishing, 1986.

LARDINOIS, C. (1985), "Supply models for inter-city passenger transportation : a review", Publication 420, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, 50 p.

LARDINOIS, C., CORMIER, M. et ROY, S. (1985a). "JET-SET. Jeu éducatif en transport/Simulation for Education in Transportation. Part 1. Operation and Rules of the Game". Publication 405, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, (disponible en anglais et en français).

LARDINOIS, C., D'AVIGNON, J. et HIROU, C. (1985b). "JET-SET. Jeu éducatif en transport/Simulation for education in Transportation". Proceedings of the 20th Annual Meeting of the Canadian Transportation Research Forum, Toronto, 177-205. Egalement publié en français dans L'Entreprise Logistique, vol. 4, 11-30, 1987.

MAGNANTI, T.L. et WONG, R.T. (1984). "Network design and transportation planning : models and algorithms". Transportation Science 18, 1-55.

MANGOUBI, R.S. et MATHAISEL, D.F.X. (1985). "Optimizing gate assignments at airport terminals". Transportation Science 19, 2, 173-188.

RIVIER, R.E. et TZIEROPOULOS, P. (1983). "Interactive Graphic Models for Railway Operational Planning". Doc. No. 726/5, Institut des transports et de planification, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse).

ROUSSEAU, J.M. (1984). "Crew scheduling methods in the operation and planning of transportation systems", in Transportation Planning Models, Florian, M. (ed). North-Holland, 439-472.

RUE, R.C. and ROSENSHINE, M. (1985). "The application of semi-Markov processes to queuing of aircraft for landing at an airport". Transportation Science 19, 2, 154-172.

SOUMIS, F. (1979a). "Planification d'une flotte d'avions". Thèse de Ph.D., Publication 133, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal.

SOUMIS, F. (1979b). "Modèles de comportement des clients du transport aérien", in Comparison of Automatic Control and Operational Research Techniques Applied to Large Systems Analysis and Control, Pelegrin, M. and Delmas, J. (ed.), IFAC/IFORS Symposium, Toulouse, France, 6-8 March. Pergamon Press.

S.N.C.F. (1979). "Modèle de simulation pour la définition d'un réseau de lignes à grande vitesse pour le transport des voyageurs". RK No. 79-381, Direction des études générales et de la recherche, Société nationale des chemins de fer, France.

SOUMIS, F., FERLAND, J.A. et ROUSSEAU, J.M. (1980). "A model for large-scale aircraft routing and scheduling problems". Transportation Research B 14B, 191-201.

SOUMIS, F., FERLAND, J.A. et ROUSSEAU, J.M. (1981). "MAPUM : A model for assigning passengers to a flight schedule". Transportation Research A 15A, 155-162.

TALVITIE, A. et HASAN, I. (1980) "An equilibrium model for transportation corridors and its application". Transportation Research B 14B, 165-174.

TURNQUIST, M.A., MEYBURG, A.H. et RITCHIE, J.F. (1981). "An Equilibrium Model for Short-Range Transit Planning", presented at the International Symposium on Frontiers in Transportation Equilibrium and Supply Models, Montreal.

TURNQUIST, M.A. (1985). "Research in Transportation System Characteristics and Operations". Resource Paper for Supply Worshop, National Science Foundation Conference on Transportation Research, Evanston, Illinois, March 20-22, Transportation Research A, 19 A, No 5/6, Sept.-Nov. 1985, 357-366.

TZIEROPOULOS, P. (1984). "RAILNET II. Aperçu général du modèle". Doc. 726/1, Institut des transports et de planification. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse).

WONG, R.T. (1984). "Introduction and recent advances in network design : models and algorithms", in Transportation Planning Models, Florian, M. (ed.), North-Holland, 187-225.

CHAPITRE III

A LA RECHERCHE DES MEILLEURS INDICATEURS D'OFFRE

Notre objectif est, rappelons-le, de jeter les bases d'un outil d'aide à la planification à court et moyen terme, des transports régionaux inter-cités. Pour ce faire, il convient de fournir des indicateurs qui permettent d'évaluer la qualité de l'offre des différentes liaisons, en tenant compte des paramètres suivants :

- grille horaire journalière sur la liaison,
- distance entre les deux villes,
- état de la demande et motifs des déplacements,
- coûts d'infrastructure et d'exploitation,

afin de permettre la comparaison des liaisons entre elles ainsi que la comparaison de différents scénarios d'amélioration de l'offre.

Nous avons, dans un premier temps, élaboré un outil graphique (cf. chapitre I p.11) permettant de comparer la qualité de l'offre des liaisons, à la lecture de la grille d'horaire sur une période de 24 heures.

Nous présentons ci-dessous les hypothèses sous-jacentes à ce type de représentation graphique, ainsi que les fondements mathématiques des différents indicateurs qui prennent en compte la distance.

Ce chapitre s'appuie pour une part importante sur les travaux d'un séminaire de DEA d'Economie des Transports qui s'est déroulé au LET en 1986-87, sous la direction de F. Plassard.(1)

1. Des indicateurs d'offre sans prise en compte de la distance

Les seules informations facilement disponibles sur une liaison sont l'heure de départ de chaque train et la durée du trajet. C'est pourquoi nous avons recherché des indicateurs qui utilisent uniquement ces données. La plage horaire choisie est de 0 à 24 h, pour un jour ordinaire de base (ou JOB) soit un mardi, mercredi ou jeudi.

Pour chaque couple de villes (i,j), on calculera indépendemment deux indicateurs, celui de la liaison i vers j et celui de j vers i. A partir de ces informations, on peut calculer par exemple pour chaque liaison :

- la durée de trajet minimum dans la plage horaire retenue,
- le nombre d'aller-retour par jour,

---

(1) KLEIN O., GAL G., LE NIR M.(1987) : "Accessibilité au réseau ferroviaire français", note de séminaire de DEA d'Economie des Transports, ss. la dir. de F. PLASSARD.

- les horaires du premier et du dernier départ dans chaque sens,
- l'attente maximale entre deux départs consécutifs,
- le temps moyen d'attente,
- le nombre de services par jour,
- la vitesse moyenne sur la ligne.

Chacun de ces indicateurs souligne un aspect de la qualité de service de la liaison, mais ne rend pas compte de la qualité de l'offre de manière assez complète. C'est pourquoi nous avons recherché des indicateurs qui intègrent en un seul chiffre plusieurs descripteurs simples et permettent ainsi d'effectuer un classement des liaisons entre elles.

Nous avons calculé l'espérance mathématique de la durée totale du voyage (durée du trajet D + temps d'attente A) :

$$(1)\quad E(D+A) = (1/T)\int_T (\alpha_t . D_t + \beta_t . A_t)\delta_t$$

avec T=1440 mn. (24 h.),

qui prend en compte ces trois paramètres (nombre de services par jour, durée du trajet, temps d'attente),

D_t = durée du trajet du premier train en partance après l'instant t.

A_t = attente, précédant le départ du premier train suivant t.

α_t et β_t = coefficients de pondération calculés selon une valeur du temps de trajet et du temps d'attente. Ceux-ci sont calculés pour l'ensemble des usagers de la liaison.

Afin d'obtenir une expression facilement calculable, avec les seules informations horaires, nous avons fait les hypothèses suivantes :

a/ La valeur du temps est la même pour chaque usager et ce, quelle que soit son activité et celle-ci est la même pour l'attente ou le trajet :

$$\alpha_t = \beta_t = 1 \quad \text{à tout instant t.}$$

b/ Si un train rattrape un autre train, ce dernier ne sera pas pris en compte dans le calcul de (1).

c/ L'usager arrivant à la gare à l'instant t, prend systématiquement le train suivant (ou le plus rapide) : en d'autres termes, la plage d'utilité non nulle d'un trajet est l'intervalle de temps $[t_{i-1}, t_i]$ compris entre ce train (i) et le précédent (i-1).

En d'autres termes, la probabilité qu'un usager prenne le train suivant son arrivée en gare est égal à 1 : cela suppose donc que l'on n'a pas de saturation du trafic.

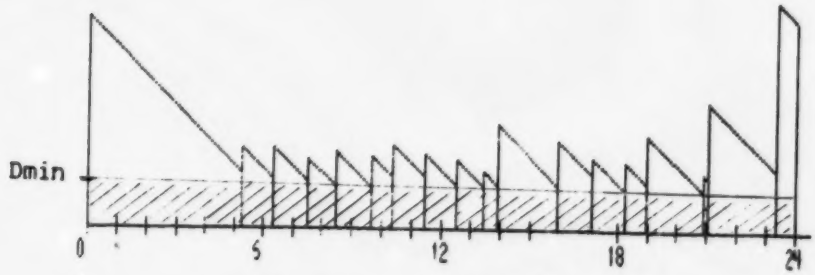
d/ Il y a équiprobabilité des souhaits de départs dans le temps.

ce qui donne l'expression simple suivante :

$$(2)\quad I_1 = E(D + A) = (1/T) \cdot \sum_{k=1}^{n} (D_k + A_k/2).A_k$$

avec T=1440 mn. (24 h.),
n = nombre de services par jour,
$A_k = t_k - t_{k-1}$,
D_k = durée du $k^{ième}$ service dans la journée.

(2) correspond à la surface sous la courbe en "toits d'usine" :



EVALUATION DU NIVEAU DE L'OFFRE DE TRANSPORTS
GRAPHE DES TEMPS COMBINES POUR LA LIAISON :
GRENOBLE-LYON

figure 1

Un tel indicateur a le mérite d'être facile à interpréter, comme la durée moyenne de voyage d'un usager sur la liaison, sous les hypothèses présentées ci-dessus.

Cependant, deux liaisons différentes ne pourront pas être comparées si leurs distances sont différentes, cet indicateur étant très sensible à la distance à travers la durée des trajets. Il convient donc de nuancer cet effet de la distance :

2. Prise en compte de la distance

a) Une première tentative peut consister à retrancher à l'espérance mathématique, la durée du trajet le plus court :

$$I_2 = E(D + A) - Dmin$$

Ce qui revient à ne retenir que la surface sous la courbe au-dessus de D (partie non hachurée , figure 1).

Seuls les écarts de temps de parcours excédant le temps minimum dus à une mauvaise performance technique de certains trajets seront pris en compte. Ici encore, plus la distance sera courte, moins ces écarts seront importants : l'effet distance n'est pas entièrement neutralisé.

b) Une seconde solution consiste à diviser E(D + A) par la distance : on obtient l'espérance mathématique de l'inverse de la vitesse du voyage, calculée sur les temps de trajet et d'attente :

$$I_3 = E\ (\ D + A\ )\ /\ d_{ij} = E\ (\ 1/V\ )$$

Dans ce cas, les temps d'attente ont un poids d'autant plus faible que la distance est longue. Les liaisons à longue distance sont avantagées. Ce qui satisfait l'hypothèse suivante : *la valeur du temps d'attente diminue lorsque la distance de la liaison augmente.*

c) Pour conserver la même construction du temps d'attente à l'indicateur, quelle que soit la distance, on rapporte le temps de trajet à une distance fictive df.

$$I_4 = E\ (\ (\ D\ /\ d_{ij}\ ).df + A\ )$$

Pour df petit, les temps d'attente A sont prédominants, pour df grand, le pouvoir séparateur de cet indicateur portera essentiellement sur la durée D du trajet.

d) Nous ne tenons pas compte dans I_4, de l'effet de la distance sur le temps d'attente.

Sous les hypothèses (dures) suivantes, nous proposons une relation simple entre le temps d'attente et la distance sur une liaison :

1- Le trafic "tous modes" suit une relation de type gravitaire :

$$TM_{ij} = K.p_i.p_j/(d_{ij})^{\tau}$$

où TM_{ij} = trafic entre les villes i et j,

pi,pj = populations des villes i et j,

dij = distance entre les villes i et j,

K et τ = paramètres de la formule gravitaire.

2- La répartition modale est uniforme dans le temps :
Si tr_{ij} est le trafic dans le mode considéré,

$$tr_{ij} = \mu.T_{ij} \qquad (1)$$

où μ est la part de trafic dans le mode entre i et j.

3- Les trajets sont à capacité C fixe et à coefficient de remplissage c identique : on peut ainsi exprimer le trafic du point de vue de l'offre :

$$tr_{ij} = c.C.n \qquad (2)$$

où n est le nombre de trajets journaliers.

Celà entraîne que :

$$n = (\mu.K.p_i.p_j)/(c.C.d_{ij}^{\tau}) \qquad (3)$$

On peut également exprimer l'attente moyenne par :

$$A_{ij} = T/n \quad \text{où } T = 1440 \text{ mn} \qquad (4)$$

d'où, d'aprés (3) et (4)

$$A_{ij} = \Gamma . d_{ij}^{\tau} \qquad (5)$$

où $\Gamma = Tc.C./(\mu.K.p_i.p_j)$

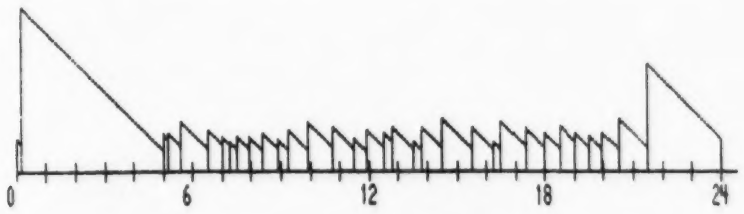
Pour neutraliser l'effet distance sur la durée du trajet D_{ij} et sur le temps d'attente A_{ij} (sous ces dernières hypothèses), on devrait donc construire un indicateur du type :

$$I_5 = E \left(D_{ij}.(df/d_{ij}) + A_{ij}.(df/d_{ij})^{\tau} \right)$$

Nous avons appliqué ces cinq indicateurs à deux liaisons :

l'une, de qualité "moyenne" : GRENOBLE - LYON, avec 16 trajets sur 105 km (voir figure 1)

l'autre de bonne qualité : St-ETIENNE - LYON, avec 28 trajets par jour, sur 65 km:



EVALUATION DU NIVEAU DE L'OFFRE DE TRANSPORTS
GRAPHE DES TEMPS COMBINES POUR LA LIAISON :
SAINT-ETIENNE-LYON

figure 2

Et l'on obtient les résultats suivants :

	GRENOBLE-LYON	St-ETIENNE-LYON	G.-L./St.E.-L.
I_1	204 mn.	122 mn.	1,7
I_2	136 mn.	81 mn.	1,7
I_3	1,9 mn/km	1,9 mn/km	1
I_4	186 mn/askm	137 mn./askm	1,4
I_5	149 mn/askm	188 mn/askm	0,8

avec pour I_5, un exposant $\tau=2$;

Malgré une différence de distance relativement faible (40 km), on observe un renversement du rapport dans le cas de I5, St-ETIENNE-LYON devenant plus mauvaise que GRENOBLE-LYON.

L'indicateur I_5, issu du modèle gravitaire, n'est donc pas satisfaisant ici,du moins sous la forme énoncée ci-dessus ; l'espérance mathématique de l'inverse de la vitesse généralisée I_3 non plus, car il met les deux liaisons sur le même plan.

Il semblerait donc que l'effet de la distance sur le temps d'attente doive être minimisé, au moins à l'échelle des relations inter-cités régionales.

I_2 pénalise GRENOBLE-LYON de manière substantielle (dans un rapport de 1,7) à cause l'amplification des écarts de performance technique par la distance.

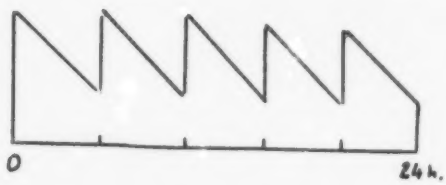
A défaut de définir une formule de type gravitaire adaptée, notre préférence va donc à I_4.

On pourra contrôler la stabilité de l'ordre des liaisons pour différentes valeurs de la distance fictive df dans I_4, ce qui permettrait de définir "la meilleure" df pour la région considérée. On choisira plus simplement la moyenne des distances des liaisons.

Une autre approche consiste à regrouper les liaisons par classes de distances, et, pour chacune de ces classes, de rapporter le graphique en toits d'usine de chaque liaison à un graphique de référence, étalonné sur la meilleure liaison, ou sur une liaison dont la vitesse et les fréquences sont considérées comme idéales.
L'écart entre la surface sous la courbe de chaque liaison et celle déterminée par la liaison de référence donne ainsi une quantité indépendante de la distance, tout en tenant compte de la vitesse sur la liaison considérée. Il est alors possible de comparer des liaisons dont les distances sont différentes. Il n'est cependant pas aisé de déterminer les liaisons de référence.

L'une des hypothèses qui nous ont permis d'élaborer ces indicateurs, est difficilement acceptable. Il s'agit de la répartition uniforme de la demande : sous cette hypothèse, et pour une fréquence donnée, c'est la répartition uniforme des trains dans le temps qui optimiserait les indicateurs que nous avons choisis, ce qui bien entendu ne satisferait pas la clientèle. Cet état de chose est illustrée par la figure 3 :

Selon nos indicateurs, une liaison correspondant au graphique :



est meilleure que celle qui correspond au graphique :

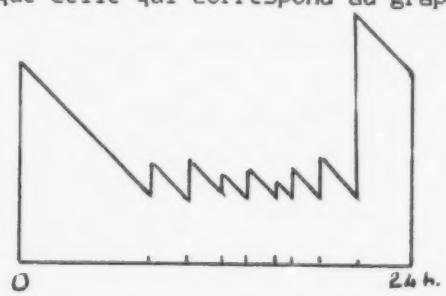


figure 3

Il convient donc de prendre en compte la répartition de la demande dans la journée. C'est cet aspect que nous abordons dans les pages suivantes.

CHAPITRE IV

PRISE EN COMPTE DE LA DEMANDE ET DES COUTS

Un indicateur de la qualité de l'offre ne prend toute sa valeur sur le plan opérationnel, que s'il est le résultat d'une mesure de l'adéquation de l'offre à la demande. Nous présentons ci-dessous trois approches de ce problème, dont les difficultés viennent surtout, nous l'avons constaté dans les chapitres I et II, de la méconnaissance de la demande potentielle, tant sur le plan de la quantité que de la nature.

Puis nous proposons un programme en quatre étapes, d'intégration des coûts à une procédure d'évaluation de l'offre telle que celle que nous présentons.

La prise en compte de la demande dans l'évaluation de l'offre peut se faire de diverses manières :

- sur le plan quantitatif, par le calcul d'une répartition dans la journée, des départs souhaités par les usagers, à partir de l'évaluation d'une demande instantanée.

- sur le plan qualitatif, par la prise en compte d'une norme de service, en terme de temps disponible à destination, selon les motifs de déplacement des usagers. De telles normes prennent en compte l'aller et le retour sur chaque liaison.

- par une mesure de l'utilité de chaque départ, cette utilité étant fonction de la distance et de l'heure de départ.

1. Evaluation de la demande instantanée

La première manière nécessite :

- soit l'observation par des enquêtes coûteuses de la répartition des départs souhaités vers une destination donnée (matrice O/D),

- soit l'estimation de cette demande à partir du trafic observé sur la liaison. Un modèle d'affectation de la demande journalière a été proposé en 1982 par A. AURIGNAC et M. BENATTAR(1). En voici les grandes lignes :

---

(1) AURIGNAC A., BENATTAR M. (1982) : "Modèle d'affectation de la demande journalière dans une grille de trains". Revue Générale des Chemins de Fer, Avril 1982.

En partant du principe que les deux facteurs qui influencent le plus le choix individuel d'un départ sont la nature des activités avant et après déplacement et les caractéristiques de l'offre, les auteurs ont cherché à décrire, par des lois analytiques, les choix exprimés par les voyageurs :

a) Estimation de la probabilité X_i de choisir un train i pour quelqu'un qui veut partir à l'instant t, par la formule de décomposition :

$$X_i(t,\mu)=U_i(t,\mu)/\sum_{1}^{n} U_k(t,\mu)$$

où t : horaire de départ souhaité par le voyageur.

μ : valeur du temps du voyageur : ici, il a été choisi une valeur du temps différente selon la classe de transport (1ère ou 2ème cl.).

$U_i(t,\mu)$ = utilité du train i à l'instant t :

$$U_i(t,\mu) = 1/T_i(t,\mu)^{\alpha}$$

où α = paramètre de résistance à estimer,

T_i = temps généralisé du train i, fonction linéaire des paramètres suivants :
tarif/valeur du temps, instant du départ i, durée du trajet i, temps des parcours terminaux, temps d'attente pondéré par un coefficient β, fonction du temps de trajet principal et du prix du billet.

La fonction d'utilité U_i du train i est indépendante du nombre et des caractéristiques des autres trains de la ligne.

Si A_i désigne le pourcentage de trafic journalier emporté par le train i, on peut l'exprimer en fonction de la distribution temporelle de la demande $D(t)$, par l'intégrale double sur le temps t et la valeur du temps μ :

$$A_i = \iint_{t\mu} D(t).f(\mu).X_k(t,\mu)\delta_\mu\delta_t \quad (1)$$

où $f(\mu)$ est la fonction de densité de la distribution des valeurs du temps des usagers.

Sous l'hypothèse que le voyageur qui choisit de partir par le train i, trouve effectivement de la place dans ce train (pas de saturation).

si :

- la journée est divisée en p intervalles de référence J_j

- l'espace de valeurs du temps est divisé en r intervalles I_k. en d'autres termes, il existe r catégories de voyageurs.

- $\phi(I_k)$ = part des voyageurs dont la valeur du temps est dans I_k ,

(1) peut être discrétisée en :

$$A_i = \sum_{j=1}^{p} a_j . X_{ij} \quad (2)$$

où a_j est une estimation du pourcentage de demande journalière dans l'intervalle de temps J_j. et où :

$$X_{ij} = \sum_{k=1}^{r} \phi(I_k) . X_i(t_j, \mu_k)$$

X_{ij} désigne la moyenne sur l'ensemble des valeurs du temps, des probabilités de choisir le $i^{ème}$ train pour un usager désirant partir dans l'intervalle de temps J_j. Dans ce cas, les usagers souhaitant partir au cours de la période J_j sont supposés vouloir partir à l'instant t_j, milieu de J_j et les probabilités de choix X_i sont calculées aux seuls instants t_j.

Il devient alors possible d'évaluer la demande a_j dans chaque intervalle de temps J_j, connaissant le trafic sur la ligne, pour chaque train et pour chacune des r catégories de voyageurs :

Le calcul des a_j s'effectue par régression linéaire multiple sous la contrainte : $\Sigma a_j = 1$. Celui-ci peut être théoriquement effectué ainsi sur chaque liaison. Cependant, les auteurs estiment que la qualité de l'ajustement est trop faible s'il est calculé sur une seule liaison. Aussi ont-ils regroupé les liaisons par type de profil de trafic : Ils ont observé les liaisons avec Paris, des types selon le sens et selon la distance et la classe. Ce qui leur a permis de définir huit profils de demande :

	1ère Classe		2ème classe	
	Paris-Province	Province-Paris	Paris-Province	Province-Paris
<=350 km.	1	2	3	4
> 350 km.	5	6	7	8

Si l'on tente d'appliquer ce modèle au niveau de chaque liaison, certaines remarques s'imposent :

- le calibrage du modèle nécessite l'estimation des paramètres :
  α = paramètre de calibrage de l'utilité,
  β = pondération du temps d'attente moyen, pour chaque liaison,
  ces deux paramètres sont estimés par la technique du balayage, c'est à dire en recherchant par essais successifs, le couple (α_*,β_*) pour lequel le modèle linéaire décrit en (2) est le mieux ajusté.
  μ = valeur du temps pour chaque type de clientèle; ici, deux populations ont été distinguées, les voyageurs de 1ère classe et ceux de 2ème classe.

- les ajustements de la demande sur l'offre sont d'autant moins précis que le nombre de trajets est faible sur la liaison considérée.

- la validation du modèle consiste à calculer les trafics théoriques à partir des demandes estimées et à les comparer au trafic emporté réel moyen sur la liaison.

Pour les liaisons PARIS-PROVINCE comprises entre 100 et 350 km, les auteurs ont estimé $\alpha = 6$, $\delta = 2$ et une valeur du temps μ de 192 f/h. pour la 1ère classe et de 19 f/h. pour la 2ème classe, ce dernier paramètre influant peu sur le modèle.

Nous avons ici un modèle performant d'évaluation de la demande journalière à partir de l'offre existante. Il ne permet pas cependant d'estimer la qualité de l'offre en fonction de cette demande.

Cette approche nous permet néanmoins d'envisager l'adaptation des indicateurs d'offre présentés au paragraphe précédent, à une demande, estimée ou simulée, de la manière suivante :

$$I_* = (1/T)\int_T \Gamma_t.(D_t + A_t)\delta_t$$

avec $\int_T \Gamma_t\delta_t = 1$ et T=1440 mn.

où Γ_t est la demande instantanée au temps t,
D_t = durée du trajet du premier train en partance après l'instant t,

A_t = attente précédant le départ du premier train précédant l'instant t

Dans le cas où l'on a estimé la demande par plages horaires (courbe -----), I_A est la surface sous la courbe (———)

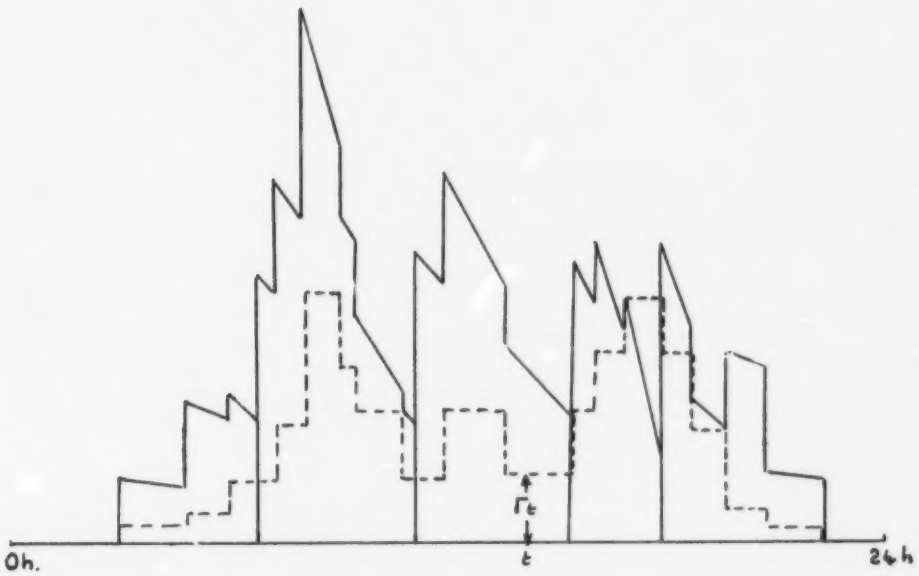


figure 4

En conclusion, l'évaluation des profils de la demande à partir des trafics observés, proposée par AURIGNAC et BENATTAR, est séduisante à première vue, car elle dispense l'exploitant d'effectuer de coûteuses enquêtes sur le comportement et la demande de transport, enquêtes qui doivent être renouvelées régulièrement. Cependant, l'estimation des paramètres, nous l'avons vu, manque de précision lorsqu'il s'agit de les calculer sur chaque liaison.

Un tel modèle présuppose que l'on est à même d'évaluer correctement la demande instantanée, ce qui n'est, nous l'avons vu, pas toujours possible. A défaut, on calculera de façon normative, une mesure de l'utilité d'un trajet en fonction de la distance et de sa position dans la journée :

2. Une mesure de l'utilité d'un trajet en fonction de la distance et des heure de départ et d'arrivée.

Lorsqu'on ne s'intéresse qu'aux liaisons à courte distance (pour des trajets de moins de 4 heures de temps), il va de soi, en l'absence d'une évaluation correcte de la demande, d'affecter un coefficient

d'utilité faible ou nul aux trains circulant la nuit. Ces derniers correspondent à des services longue distance, extérieurs à la région. Par exemple, dans la région Rhône-Alpes, la liaison Lyon-Valence (105 km) présente huit trains au départ entre 23h et 6h du matin. Ceux-ci correspondent à des étapes techniques, des services postaux ou de correspondance de trains à longue distance (Paris-Nice, Paris-Barcelone, Paris-Toulouse), mais ne sont pas définis par rapport à une demande régionale.

Dans un premier temps, un indicateur qui intègre une pondération horaire égale à 0 entre 21h et 6h et à 1, de 6h à 21h a été calculé (cf ch.I, p. 17). La quantité obtenue défavorise les liaisons comportant des trains de nuit, ceux-ci n'ayant une utilité que pour les longues distances. Cette opération se justifie à l'intérieur d'une région française, où les distances intra-régionales dépassent rarement les 300 km.

Au contraire, si l'on se place dans le contexte nord-américain, les distances inter-cités régionales peuvent atteindre ou dépasser les 500 km. Dans ce cas, un voyageur devant faire un trajet de longue durée en fin de journée ou souhaitant être de bonne heure à destination, pourra choisir un temps de parcours plus long ou différer son départ, en fonction de l'heure d'arrivée, et choisir par exemple un train de nuit avec couchette.

Il convient donc, dans la perspective d'élargissement du modèle à des distances longues (>500 km), de calculer pour une distance particulière, un coefficient d'utilité d'un train en fonction de l'heure de départ et de l'heure d'arrivée.

Celui-ci peut être estimé par le rapport : (trafic moyen sur le trajet)/(trafic moyen de jour, pour les liaisons de même ordre de distance), dans la mesure où ces trafics sont connus.

Dans ces deux approches, on ne prend pas en compte les motifs de déplacements , qui déterminent fortement la demande intra-régionale : La part de déplacements domicile-travail ou des déplacements pour affaires, est très différente selon les liaisons. C'est pourquoi la construction d'indicateurs prenant en compte la satisfaction ou le non-satisfaction d'une demande en terme de motif de déplacement nous paraît utile.

Une troisième approche consiste donc à tenter de situer l'offre relativement à une norme de service qui prenne en compte les motifs de déplacement. C'est cet aspect que nous analysons dans le prochain paragraphe.

3. Prise en compte des motifs de déplacement

On considère ici l'offre sur une liaison comme une offre de service permettant aux usagers d'effectuer un séjour à destination, dans les meilleures conditions.

Dans ce cas, l'unité de service sera l'aller et le retour.

Si l'on considère, par exemple les voyages professionnels, trois situations sont couramment rencontrées :
- faire l'aller et le retour dans la demi-journée,
- faire l'aller et le retour dans la journée,
- séjourner à destination plus d'une journée.

Dans le premier cas, les contraintes suivantes sont nécessaires :

C_1 : On dispose de 3 heures le matin ou l'après midi à destination,

C_2 : Il existe un départ permettant d'arriver avant 9h et un retour à partir de 12h pour arriver avant 15h,

C_{2bis} : Il existe un départ après-midi permettant d'arriver avant 14h30 et un retour à partir de 17h30 qui permet d'arriver avant 20h.

Dans le second et le troisième cas, les contraintes deviennent :

C'_1 : on dispose de 6 heures utiles dans la journée à destination

C'_2 : il existe un départ permettant d'arriver avant 9h et un retour à partir de 17h30, permettant d'arriver avant 20h.

On sélectionne ensuite les trains qui satisfont ces contraintes. Plusieurs indicateurs peuvent être calculés :

- le nombre de possibilités offertes

- le temps maximal disponible à destination sous l'une des trois contraintes C_2, C_{2bis} ou C'_2.

- la moyenne des temps disponibles à destination pour tous les trajets qui satisfont C_2, C_{2bis} ou C'_2.

- un rendement horaire de chaque aller-retour :

(temps utile à destination)/(durée totale du voyage)

Un rendement maximal peut être calculé, qui rendra compte de la qualité de l'offre de la liaison pour un type de déplacement particulier.

On pourra distinguer différents types de voyages : ceux à contraintes horaires <u>fortes</u>, tels les déplacements domicile-travail ou professionnels courts, ceux à contraintes <u>moyennes</u> (voyages d'affaires de plusieurs jours) ou à contraintes <u>faibles</u> ou négligeables par rapport au coût (voyages touristiques de plusieurs jours par exemple).

On pourra tenter de préciser la répartition de ces 3 types de demande pour chaque liaison.

Cette démarche que l'on peut qualifier de normative permet de qualifier la demande selon certains types de déplacement. En tenant compte des deux sens de parcours d'une liaison, elle apporte des informations complémentaires aux indicateurs décrits dans le chapitre précédent. Elle devrait trouver son utilité dans le choix des mesures à prendre pour améliorer l'offre, ou comme contrainte dans un processus de simulation.

Ces contraintes d'horaires seront bien entendu mieux satisfaites pour les courtes liaisons que pour les liaisons à longue distance. Dans ces derniers cas, il faudra envisager d'élargir les contraintes aux trains de nuit, qui procurent, comme dans le cas Paris-Marseille, des possibilités d'aller et retour de nuit, rendant entièrement utilisable la journée de séjour à destination, alors que, pour les courtes distances, les trains de nuit n'ont qu'une très faible utilité.

4 La prise en compte des coûts

a) Les problèmes et leur contexte

L'ensemble des procédures qui viennent d'être esquissées, et qui ont pour but de mieux adapter l'offre à la demande, ne peut être complet sans une prise en compte des coûts, et c'est même l'objectif principal qu'en attendraient beaucoup d'utilisateurs, à commencer par les responsables politiques. Mais c'est là probablement l'aspect le plus difficile et en même temps, le plus délicat, de toute notre démarche.

C'est l'aspect le plus difficile, parce qu'on ne peut disposer facilement d'éléments de comptabilité permettant de dégager des indications quant au coût de mise en circulation d'un véhicule donné pour un kilomètre parcouru : un tel coût est en effet éminemment variable, dépendant à la fois :

- de l'état de l'infrastructure, et de l'éventuelle part des services régionaux dans son budget d'entretien : dans le domaine ferroviaire, il y a là des problèmes très mal cernés, car comment faire la part des trafics de marchandises et de voyageurs, et à l'intérieur de ce dernier, des services d'envergure nationale, et des services régionaux ? Le pourcentage des circulations des différentes catégories n'est pas nécessairement une solution équitable, puisque les convois de marchandises sont en général beaucoup plus lourds que les trains de voyageurs ;

- de la nature du ou des véhicules utilisés, et du type d'énergie consommée : ainsi, pour les relations ferroviaires inter-cités, mettra-t-on en circulation un autorail, ou un train Diesel, ou si le parcours

envisagé est équipé de caténaires, une automotrice ou un train électriques ?

- de la disponibilité du matériel roulant : bien souvent, la réponse aux interrogations précédentes peut dépendre en partie de la question de savoir s'il y a des véhicules non utilisés qui pourraient être affectés au parcours supplémentaire envisagé, sur un créneau horaire donné. Mais s'il s'agit d'un matériel vieilli qui risque de compromettre l'image de marque du nouveau service à l'étude, on préfèrera sans doute l'achat d'un matériel nouveau, ce qui gonfle d'autant les coûts ;

- de la disponibilité du personnel d'accompagnement : là encore, les dépenses ne seront pas du tout les mêmes, si l'on peut mettre à contribution du personnel qui est de toute façon payé, mais qui se trouve temporairement inoccupé sur le créneau horaire envisagé, ou s'il faut engager du personnel supplémentaire.

La prise en compte des coûts est également l'aspect le plus délicat de notre démarche parce que, on le voit bien après le rappel de ces quelques variables, tout travail sérieux abordant ce domaine implique l'accès à plusieurs types de sources plus ou moins confidentielles, car généralement considérées comme relevant du secret commercial : comptabilité de l'exploitant, plan d'utilisation du matériel roulant, plan d'affectation du personnel d'accompagnement ; ces deux derniers types de documents étant probablement plus faciles à obtenir que le premier. Il est certain que la mise à disposition de telles sources d'information, qui sont indispensables, dépend à la fois :

- du statut du ou des chercheurs et techniciens ayant besoin d'une telle documentation : dès qu'il ne s'agit pas d'employés du transporteur, cela soulève bien évidemment de grosses interrogations ;

- et de la qualité de la relation qui existe entre l'exploitant et l'autorité organisatrice : un minimum de confiance est requis, de façon à ce que l'information puisse circuler d'un partenaire à l'autre, et à ce qu'on se dirige éventuellement vers un type de fonctionnement reposant sur des échanges "à livres ouverts".

Certains comportements risquent de ne pas favoriser une évolution en direction d'un tel objectif. A titre d'exemple, on peut citer le cas d'un transporteur qui adresse à l'autorité organisatrice responsable un mémoire dressant la liste des nouveaux besoins, proposant la mise sur pied et les créneaux horaires de nouveaux services, et établissant le total du matériel roulant supplémentaire requis, étant bien entendu que cet investissement est à la charge de l'autorité territoriale ! En pareil cas, le problème majeur résulte du fait qu'un tel mémoire n'apporte aucune justification ni du côté de la demande, ni en ce qui concerne la pleine utilisation du matériel roulant existant et du personnel d'accompagnement. On comprend dans ces conditions que la

première réaction des hommes politiques responsables soit d'une très prudente réserve. Dans une telle situation, on ne peut sortir de l'impasse que si l'autorité organisatrice a la possibilité de commander sa propre étude, ou sa propre contre-expertise, et qu'il soit entendu que ses auteurs auront un libre accès à toute l'information nécessaire.

b) Un programme en quatre étapes

Ces réflexions préalables sont indispensables pour éclairer notre propos : l'élaboration de procédures de planification des services de transport en commun inter-cités reposant sur un mode interactif graphique et prenant en compte les coûts ne pourra se faire qu'en plusieurs étapes, de façon à pouvoir résoudre un certain nombre de problèmes les uns après les autres, tout en créant au fur et à mesure un climat de confiance croissant entre le ou les transporteurs d'une part, l'autorité organisatrice d'autre part.

Outre la phase préparatrice des simulateurs, déjà évoquée au chapitre II, **la première de ces étapes** consiste sans doute à mettre en place, éventuellement en les adaptant, certains des modèles d'affectation du matériel roulant et du personnel d'accompagnement auxquels il a été fait allusion dans le même chapitre II ci-dessus, et à les tester sur une situation réelle d'une des années précédentes, fournie par l'exploitant d'un réseau de transport. Dès ce stade, il faudrait que les principales dispositions des conventions collectives en vigueur régissant les horaires de travail du personnel d'accompagnement soient incorporées aux modèles utilisés, de même que les contraintes d'entretien du matériel roulant. On peut en attendre deux résultats positifs :

- d'une part, obtenir d'autres solutions globales possibles pour ce qui concerne l'affectation des véhicules et de leur personnel d'accompagnement, dont certaines, à la lumière des résultats déjà acquis ailleurs, pourraient être éventuellement plus intéressantes et plus économiques que celle qui a été effectivement mise en oeuvre cette année là. C'est certainement un des meilleurs moyens d'intéresser l'exploitant au développement de ce type d'outil ;

- d'autre part, compte-tenu de la flotte et du personnel disponibles, procéder à des simulations, et obtenir des réponses quant à la question de savoir si tel ou tel service envisagé requiert ou non du matériel roulant et du personnel supplémentaires : c'est déjà une indication très éclairante sur les coûts.

Une fois ces modèles bien testés et rodés, **une seconde étape** pourrait consister à les appliquer, toujours sur un mode interactif graphique, à des situations actuelles et à l'étude : on atteint ainsi une phase véritablement opérationnelle, avec des simulations permettant d'identifier les propositions n'impliquant pas trop d'investissements ni en véhicules, ni en personnel, ainsi que celles dont on peut prévoir qu'elles seraient les plus coûteuses.

Dans **une troisième étape**, il s'agirait de passer à un registre supérieur, qui est celui de la conversion de toutes ces données en unités monétaires. Là encore, les applications pourraient se faire d'abord sur une situation historique réelle, puis sur des situations actuelles et à venir.

Enfin, **une quatrième étape** pourrait essayer d'inclure, pour les chemins de fer, le coût d'entretien de l'infrastructure, et pour les autocars, celui des diverses taxations pouvant représenter une contribution équivalente. D'un pays à l'autre, ces problèmes se posent évidemment dans des termes très différents. C'est ainsi que dans le domaine ferroviaire, en France, il s'agirait de passer en revue tous les mécanismes de la comptabilité interne de l'entreprise nationale, tandis qu'au Canada, il faudrait examiner les justifications des factures qui circulent d'une entreprise à l'autre. En effet, dans ce pays, les trains de voyageurs sont gérés par une agence fédérale, VIA Rail, qui ne possède pas d'infrastructures, et qui doit donc louer des droits de passage sur les voies ferrées des principales compagnies ferroviaires, le Canadien Pacifique (CP), relevant d'intérêts privés, et le Canadien National (CN), nationalisé. Ainsi, toute circulation d'un train de voyageurs fait l'objet d'une facturation, et c'est ce système qui devrait être étudié.

BILAN ET PERSPECTIVES

Un modèle d'évaluation de la qualité de l'offre à un niveau désagrégé comme nous l'envisageons, devra bien entendu être calculé sur une évaluation de la demande au niveau le plus fin, c'est-à-dire au cours d'une journée pour chaque trajet de chaque liaison. Celle-ci devra de plus être sensible à l'offre, afin de permettre l'évaluation des effets des modifications apportées à l'offre sur la demande.

Pour ce faire, il faudra franchir les trois étapes suivantes :

1. L'évaluation de la demande pour chaque paire de villes, en termes de masse. Un modèle gravitaire, dont les élasticités seraient calibrées sur les trafics observés sur chaque paire de villes peut éventuellement répondre à la question.

2. Le calcul de la répartition de la demande :

- en termes de choix modal,

- en termes de sens (origine-destination),

- en termes de type de clientèle (classes de service, motif du déplacement-affaires, tourisme, domicile-travail...). Cette distinction revêt une importance par son incidence sur les contraintes d'horaires de service, ainsi que sur les coûts en ce qui concerne les classes.

Ce calcul peut se faire soit à partir d'une observation directe par codage d'enquêtes auprès des usagers de chaque mode, dans chaque sens, de chaque type. Cette démarche coûteuse aura pour désavantage de ne pas être réactualisée lors des modifications de l'offre. Il existe des modèles de répartition modale selon différents types de déplacements urbains (comme EMME2, par exemple) mais il n'en existe pas à notre connaissance, qui soient adaptés à l'interurbain. Il est notamment très difficile de mesurer l'usage de l'automobile dans les déplacements inter-cités et les motifs des déplacements automobiles, alors que ce mode est en général majoritaire.

Une solution a priori moins satisfaisante, mais peut-être tout à fait acceptable dans un processus de décision reviendrait à comparer les normes de service correspondant à une demande-type de chaque liaison (temps utile entre deux allers et retour dans une demi-journée ou dans une journée) et à en déduire un profil de demande par mode, en faisant l'hypothèse que le trafic observé pour une offre existante n'est pas "complètement aberrant" relativement à la demande sur ce mode.

3. La répartition de la demande sur une liaison, associée à une offre existante sur laquelle on a estimé les trafics. Un profil de

demande étant calculé à partir d'une fonction d'utilité (1) ou d'attractivité (2) calculée sur les trajets de la liaison.

Une évaluation de la qualité de l'offre pourra aussi être calculée en fonction de la demande. On estimera ainsi le degré d'adéquation des horaires au profil de la demande, et celle des places disponibles à l'effectif des usagers potentiels sur chaque trajet.

Le modèle devra également prendre en compte des contraintes en termes de disponibilité du parc de véhicules, et du personnel roulant.

L'outil interactif graphique qui pilotera ce modèle devra permettre la modification de l'offre, selon des scénarios envisagés par l'utilisateur, en fonction de données exogènes : modification du contexte du fait des changements dans la répartition de la demande selon les modes ou les types d'usagers, planification d'une nouvelle infrastructure (train à grande vitesse, nouveau service autocar,...), souci d'amélioration de l'offre -soit à coût constant, soit moyennant un coût à préciser; et d'en mesurer les effets tant sur le plan de la qualité de service et de la modification sur la demande satisfaite, que sur les coûts (en termes de disponibilité du matériel roulant, kilomètres haut-le-pied, disponibilité des personnels, respect des conventions collectives et coût pour l'entreprise).

Un effet de retour devra permettre de réévaluer pour chaque scénario d'offre, l'effectif et la répartition de la demande, en tenant compte de l'effet d'induction de l'offre.

Ces fonctionnalités peuvent aboutir à un outil de simulation et par là-même, soit à une aide pédagogique pour l'apprentissage de la prise de décision dans le domaine de la confection d'horaires en termes d'offre, soit à un outil d'aide à la décision. Dans ce dernier cas, les calibrages de la demande sur le système de transport étudié devront être possibles et contrôlés, ce qui nécessite une gestion de l'entreprise permettant d'obtenir des données fiables en termes de trafic, par type d'usager, et d'affectation de matériel et de personnel.

Dans ces conditions, cet outil a pour vocation d'intervenir à un niveau tactique. Il pourra cependant permettre de simuler les effets de décisions d'ordre stratégique (décision politique relativement à un mode, création d'infrastructures, déréglementation, conventionnement) tout en ayant des effets sur le court terme et au niveau très désagrégé du trajet, de la taille d'une rame, d'un nombre de départs de bus ou des heures supplémentaires du personnel.

---

(1) AURIGNAC A. et BENATTAR M. (1982): "Modèle d'affectation de la demande journalière dans une grille de trains". Revue Générale des Chemins de Fer, Avril 1982.

(2) SOUMIS F. : (1979a) "Planification d'une flotte d'avions." Thèse de Ph.D., Publication 133, CRT, Université de Montréal.

Au total, c'est un programme de recherche considérable qui vient d'être esquissé, et comme nous le soulignions déjà à la fin du chapitre II, il implique une collaboration très étroite et un intérêt soutenu de la part d'un ou plusieurs exploitants de réseaux de transport. Il y a là un pré-requis indispensable sans lequel il est pratiquement impossible de poursuivre les études dans ce domaine.